



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ**  
**ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**Διπλωματική Εργασία**

**Τίτλος εργασίας**

**Μετάβαση από τη Βιομηχανία 4.0 στη Βιομηχανία 5.0**

**Συγγραφέας**

**Λέντζου Μαρία**

**ΑΜ: 18389303**

**Επιβλέπων: Μιχαήλ Παπουτσιδάκης**

**Συνεπιβλέπουσα: Ελένη Συμεωνάκη**

**Αθήνα, Ιούλιος, 2023**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA  
SCHOOL OF ENGINEERING  
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL DESIGN AND PRODUCTION  
ENGINEERING**

**Diploma Thesis**

**Title**

**Transition from Industry 4.0 to Industry 5.0**

**Student:**

**Lentzou Maria**

**Registration Number: 18389303**

**Supervisor: Michail Papoutsidakis**

**Co-Supervisor: Eleni Symeonaki**

**Athens, July, 2023**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ**  
**ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**Μετάβαση από τη Βιομηχανία 4.0 στη Βιομηχανία 5.0**

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

<b>A/a</b>	<b>ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
1	ΜΙΧΑΗΛ ΠΑΠΟΥΤΣΙΔΑΚΗΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
2	ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΓΚΑΝΕΤΣΟΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
3	ΕΛΕΝΗ ΣΥΜΕΩΝΑΚΗ	ΕΔΙΠ Α΄	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη .....Λέντζου...Μαρία..... του ..Γεωργίου.., με αριθμό μητρώου ...18389303..... φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής αισθάνομαι την υποχρέωση να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στους ανθρώπους, χωρίς τη βοήθεια των οποίων, θα ήταν αδύνατο να καταφέρω το στόχο μου. Έτσι λοιπόν ευχαριστώ θερμά τους επιβλέποντες της διπλωματικής εργασίας μου κ.κ. Μιχαήλ Παπουτσιδάκη (Καθηγητή) και Ελένη Συμεωνάκη (ΕΔΙΠ Α΄) για την πολύτιμη καθοδήγηση τους και την εκτίμηση που μου έδειξαν.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που με ενθάρρυνε και υπήρξαν συνοδοιπόροι σε αυτήν τη προσπάθεια.

Λέντζου Μαρία,

17/07/2023

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική διερευνά τη μετάβαση από τη Βιομηχανία 4.0 στη Βιομηχανία 5.0, εστιάζοντας στην ανθεκτικότητα, τη βιωσιμότητα και την ανθρωποκεντρικότητα αυτής της μετάβασης στη μεταποιητική βιομηχανία. Ξεκίνα με μια αναδρομή στις προηγούμενες βιομηχανίες, εστιάζοντας στην μετάβαση από την Βιομηχανία 3.0 στην Βιομηχανία 4.0. Έπειτα παρέχεται μια επισκόπηση της Βιομηχανίας 4.0, τονίζοντας τις βασικές τεχνολογίες της, όπως το Διαδίκτυο των πραγμάτων, η τεχνητή νοημοσύνη και η αυτοματοποίηση, και αξιολογώντας τα επιτεύγματα και τον αντίκτυπό της στις μεταποιητικές διαδικασίες, την παραγωγικότητα και την ανταγωνιστικότητα. Προσδιορίζει τους περιορισμούς και τις αναδυόμενες ανάγκες που οδηγούν στη μετάβαση προς την Βιομηχανία 5.0, τονίζοντας τη σημασία της δημιουργίας ενός ανθεκτικού συστήματος μεταποίησης. Η διατριβή εμβαθύνει στις τεχνικές προκλήσεις που συνδέονται με τη Βιομηχανία 5.0, όπως η διαλειτουργικότητα της τεχνολογίας, η διαχείριση δεδομένων και η κυβερνοασφάλεια. Διερευνά βιώσιμες κατασκευαστικές πρακτικές για την ελαχιστοποίηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της Βιομηχανίας 5.0, αναδεικνύοντας τη σημασία τους για τη διασφάλιση της ανθεκτικότητας και της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας αυτής της νέας εποχής. Ολοκληρώνεται με μια ανάλυση των ευκαιριών και των οφελών που παρουσιάζει η μετάβαση στη Βιομηχανία 5.0, δίνοντας έμφαση στη δίκαιη κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη, με επίκεντρο τον άνθρωπο. Συνοψίζοντας, η παρούσα διατριβή συμβάλλει στην κατανόηση της μετάβασης από τη Βιομηχανία 4.0 στη Βιομηχανία 5.0 και των τεχνολογιών που εμπλέκονται, εστιάζοντας στη διάρκεια και τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα αυτής της αλλαγής.

**Λέξεις Κλειδιά: Τεχνητή Νοημοσύνη, Ανθρωποκεντρικότητα, Κυβερνοασφάλεια, Βιωσιμότητα, Ανθεκτικότητα**

## ABSTRACT

This thesis explores the transition from Industry 4.0 to Industry 5.0, focusing on the resilience, sustainability and human-centeredness of this transition in the manufacturing industry. It begins with a look back at previous industries, focusing on the transition from Industry 3.0 to Industry 4.0. An overview of Industry 4.0 is then provided, highlighting its key technologies, such as the Internet of Things, artificial intelligence and automation, and assessing its achievements and impact on manufacturing processes, productivity and competitiveness. It identifies the constraints and emerging needs driving the transition to Industry 5.0, emphasizing the importance of building a resilient manufacturing system. The thesis delves into the technical challenges associated with Industry 5.0, such as technology interoperability, data management and cybersecurity. It explores sustainable manufacturing practices to minimize the environmental footprint of Industry 5.0, highlighting their importance in ensuring the resilience and long-term sustainability of this new era. It concludes with an analysis of the opportunities and benefits of the transition to Industry 5.0, with an emphasis on equitable, human-centered socio-economic development. In summary, this thesis contributes to the understanding of the transition from Industry 4.0 to Industry 5.0 and the technologies involved, focusing on the duration and long-term sustainability of this change.

**Keywords: Artificial Intelligence, Human-centered, Cybersecurity, Sustainability, Resilience**

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ</b> .....	9
<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ</b> .....	11
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	
1.1 Βιομηχανική Επανάσταση.....	12
1.1.1 Βιομηχανία 1.0.....	12
1.1.2 Βιομηχανία 2.0.....	13
1.2 Βιομηχανία 3.0.....	14
1.3 Μετάβαση από την Βιομηχανία 3.0 στην Βιομηχανία 4.0.....	19
<b>Α΄ ΜΕΡΟΣ</b>	
2. Βιομηχανία 4.0.....	21
2.1 Τεχνολογικές εξελίξεις της Βιομηχανίας 4.0.....	22
2.1.1 Συστήματα Κυβερνώ-Ασφαλείας.....	23
2.1.2. Τεχνητή νοημοσύνη.....	29
2.1.3 Ψηφιακά Δίδυμα.....	33
2.1.4. Διαδίκτυο των πραγμάτων.....	35
2.1.5. Διαχείριση και Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων.....	38
2.1.6 Cloud Computing.....	43
2.1.7 Προσθετική Μηχανική.....	46
2.1.8 Επαυξημένη πραγματικότητα.....	50
2.1.9 Αυτόνομα Ρομπότ.....	52
2.2. Ανάγκη Μετάβασης στην Βιομηχανία 5.0.....	55
<b>Β΄ ΜΕΡΟΣ</b>	
3. Βιομηχανία 5.0.....	60
3.1 Τεχνολογικές εξελίξεις της Βιομηχανίας 5.0.....	61
3.1.1 Έξυπνη Προσθετική Κατασκευή.....	62
3.1.2 Blockchain - Αλυσίδα μπλοκ.....	64



3.1.2.1. Εφαρμογή Blockchain στο Βιομηχανικό Δίκτυο των Πραγμάτων.....	65
3.1.3 Επικοινωνίες 5G – 6G.....	66
3.1.4 Εκτεταμένη πραγματικότητα.....	69
3.1.5 Τεχνητή Νοημοσύνη.....	72
3.1.6 Συνεργασία ανθρώπου μηχανής - Cobot.....	74

## **Γ' ΜΕΡΟΣ**

4.1 Στόχοι της Βιομηχανίας 5.0.....	79
4.1.1 Βιωσιμότητα.....	80
4.1.1.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	81
4.1.1.2 Αξιολόγηση κύκλου ζωής .....	83
4.1.1.3 Κοινωνική Σπατάλη.....	85
4.1.2 Ανθρωποκεντρικότητα .....	86
4.1.2.1 Βιομηχανία 5.0 και Κοινωνία 5.0.....	88
4.1.3 Ανθεκτικότητα.....	90
4.2 Προκλήσεις της Βιομηχανίας 5.0.....	91
4.3 Συμπεράσματα.....	92

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ**

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Απεικονίζει την εξέλιξη της βιομηχανίας σε μια χρονική γραμμή.....	12
Εικόνα 2: Συνεχόμενο και εναλλασσόμενο ρεύμα.....	14
Εικόνα 3: Παράδειγμα καταπόνησης μίας ράβδου.....	15
Εικόνα 4: Τα σχέδια του Ivan Sutherland σε CAD το 1963.....	16
Εικόνα 5: Αναπαριστά την αρχιτεκτονική του PLC.....	17
Εικόνα 6: Διάγραμμα του συστήματος ελέγχου Cnc.....	19
Εικόνα 7: Βασικοί όροι της Βιομηχανίας 4.0.....	23
Εικόνα 8 : Βήματα που ακολουθούνται στην κρυπτογράφηση του αλγόριθμου AES.....	26
Εικόνα 9: Γραφική αναπαράσταση της χρήσης των S-Boxes.....	29
Εικόνα 10: Σχηματική αναπαράσταση με αντίστοιχη σειρά επιβλεπόμενης μάθησης, μη επιβλεπόμενης μάθησης, μάθηση με ημιεπίβλεψη, ενισχυμένη μάθηση.....	32
Εικόνα 11: Παράδειγμα ροής δεδομένων σε ένα νευρονικό δίκτυο.....	32
Εικόνα 12: Στρωματική αναπαράσταση της τεχνητής νοημοσύνης.....	33
Εικόνα 13: Παραλληλισμός σε επίπεδο δεδομένων.....	40
Εικόνα 14: Σχηματική αναπαράσταση των βημάτων της διαδικασίας ανάληψης γνώσης.....	41
Εικόνα 15: Η δομή του cloud.....	44
Εικόνα 16: Η υπηρεσίες cloud και που απευθύνεται το κάθε μοντέλο.....	45
Εικόνα 17: Αναπαράσταση των κατηγοριών της προσθετικής μηχανικής.....	50
Εικόνα 18: Παράδειγμα χρήσης της επαυξημένης πραγματικότητας για την βήμα - βήμα καθοδήγηση των ειδικών συντήρησης.....	51
Εικόνα 19: Αυτόνομα ρομπότ αναλαμβάνουν ένα κόμματα των διεργασιών για την κατασκευή της mercedes s class.....	54
Εικόνα 20: Διάγραμμα ζήτησης εργαζομένων συγκριτικά με την αύξηση της ψηφιοποίησης και της διασύνδεσης.....	57
Εικόνα 21: Γράφημα που δείχνει την πορεία της χρήσης ενέργειας στην βιομηχανία, τις μεταφορές, την οικιακή χρήση και την εμπορική χρήση, από το 1960 μέχρι το 2040.....	58
Εικόνα 22: Γράφημα που αναπαριστά τους τόνους σε εκατομμύρια των καταγεγραμμένων ηλεκτρονικών αποβλήτων τα τελευταία χρόνια.....	59
Εικόνα 23: Διάγραμμα με τους στόχους της βιομηχανίας 5.0 και τις τεχνολογίες στις οποίες επικεντρώνεται.....	62

Εικόνα 24: Αναπαράσταση ροής πληροφορίας στην τεχνολογία Blockchain.....	65
Εικόνα 25: Εικονική αναπαράσταση των διαφορών μορφών που απαρτίζουν την εκτεταμένη πραγματικότητα.....	70
Εικόνα 26: Παραδείγματα εντοπισμού ανωμαλιών σε διάφορες επιφάνειες με την χρήση βαθιάς μάθησης.....	73
Εικόνα 27: Παράδειγμα συνεργασίας ανθρώπου μηχανής.....	76
Εικόνα 28: Ενδεικτικός σχεδιασμός σε CAD του βασικού σώματος του cobot.....	77
Εικόνα 29: Οι παράγοντες που καθορίζουν την βιωσιμότητα.....	80
Εικόνα 30: Διάγραμμα του κύκλου ζωής για ένα προϊόν.....	84
Εικόνα 31: Παραδείγματα εφαρμογών της κοινωνίας 5.0.....	89

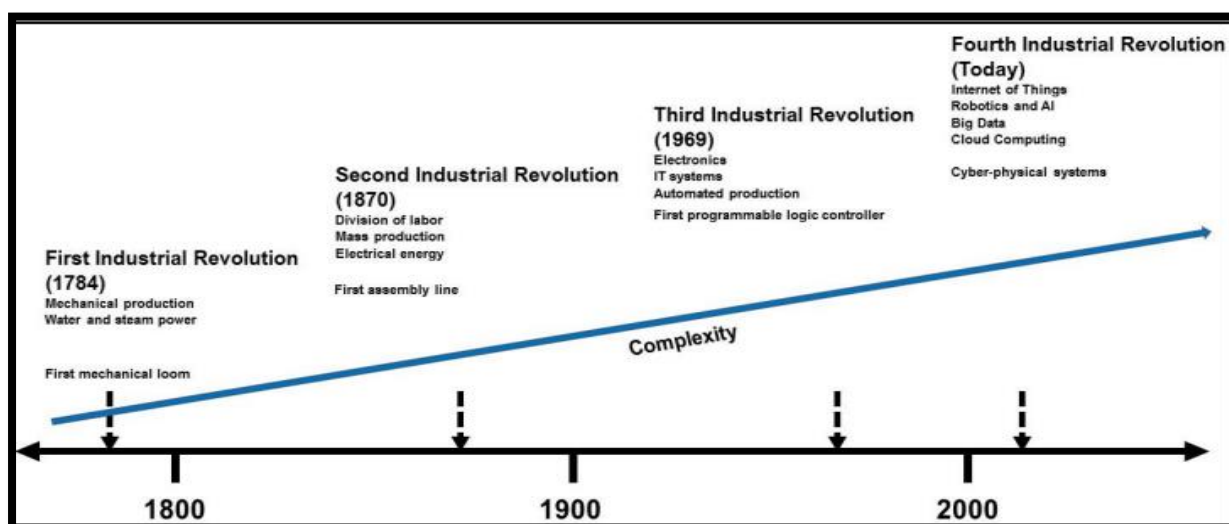
## **ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 1: Δομικά στοιχεία, συσκευές και χαρακτηριστικά του ΙΟΤ.....	36
Πίνακας 2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της Βιομηχανία 4.0.....	55
Πίνακας 3: Σύγκριση των δικτύων 5G και 6G.....	67
Πίνακας 4: Κατηγορίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και οι βασικές εφαρμογές τους...	82

## 1.1 Βιομηχανική επανάσταση

Είναι γεγονός ότι από όλες τις επαναστάσεις στην ανθρώπινη ιστορία, η βιομηχανική επανάσταση ήταν αυτή που είχε το μεγαλύτερο αντίκτυπο, καθώς έφερε ραγδαία μεταβολή στην καθημερινότητα των ανθρώπων. Ο όρος βιομηχανική επανάσταση είναι μια συνοπτική φράση που χαρακτηρίζει μια ολόκληρη ιστορική περίοδο, η οποία ξεκίνησε στη Μεγάλη Βρετανία του 18ου αιώνα.

Η καινοτομία και η τεχνολογική εξέλιξη πρόσφερε μια σειρά από νέα εργαλεία και μηχανές. Περιλάμβανε επίσης διάφορες πρακτικές βελτιώσεις σε πολλούς τομείς που επηρεάζουν την εργασία, την παραγωγή και την εκμετάλλευση των υπάρχοντων πόρων. [1]



Εικόνα 1: Απεικονίζει την εξέλιξη της βιομηχανίας σε μια χρονική γραμμή. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν 100 χρόνια από τις επαναστάσεις μέχρι την τρίτη επανάσταση. Ωστόσο, υπάρχουν μόνο 40 χρόνια μεταξύ της τρίτης και τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης [2]

### 1.1.1 Βιομηχανία 1.0

Η μετάβαση από την χειροκίνητη παραγωγή στην κατασκευή μέσω της χρήσης μηχανών που τροφοδοτούνται κυρίως από ατμό και νερό ήταν το κύριο χαρακτηριστικό της εποχής. Έτσι για πρώτη φορά στην ιστορία ξεκίνησε η μαζική παραγωγή των αγαθών[3]. Τρία ήταν τα βασικά γνωρίσματα της πρώτης βιομηχανίας:

- η υποκατάσταση του ανθρώπου σε πολλούς τομείς της παραγωγικής διαδικασίας από τη μηχανή

- η αντικατάσταση των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (υδατόπτωση, αιολική ενέργεια κ.ά.) από νέες, ιδιαίτερα ο γαιάνθρακας χρησιμοποιήθηκε σε πολλές εφαρμογές στα βιομηχανικά συστήματα.
- η χρήση νέων και άφθονων πρώτων υλών, κυρίως ανόργανων. [3]

Πολλοί διαφορετικοί κλάδοι της βιομηχανίας επηρεάστηκαν από αυτή την αλλαγή, συμπεριλαμβανομένης της κλωστοϋφαντουργίας, της βιομηχανίας σιδήρου, της γεωργικής βιομηχανίας και της βιομηχανίας εξόρυξης.

Για να συμβεί η βιομηχανική επανάσταση, απαιτήθηκαν σημαντικά επενδυτικά κεφάλαια. Οι νέες μηχανές δεν ήταν μόνο ακριβές, αλλά πολύ πιο δαπανηρές από οποιονδήποτε άλλο κατασκευαστικό εξοπλισμό που είχε επινοηθεί προηγουμένως. Επίσης η πρόσβαση σε πρώτες ύλες, όπως ο άνθρακας και το σίδηρο, ήταν αρκετά δύσκολη και με υψηλό κόστος ειδικά για μεγαλύτερες αποστάσεις. Τέλος το εργατικό δυναμικό που ανταποκρίθηκε ήταν κυρίως ανειδίκευτοι εργάτες που μπήκαν στα εργοστάσια επειδή δεν είχαν πολλές επιλογές καθώς υπήρχε η πεποίθηση ότι οι μηχανές, αντικαθιστούσαν τους ειδικευμένους εργάτες. [4]

### 1.1.2 Βιομηχανία 2.0

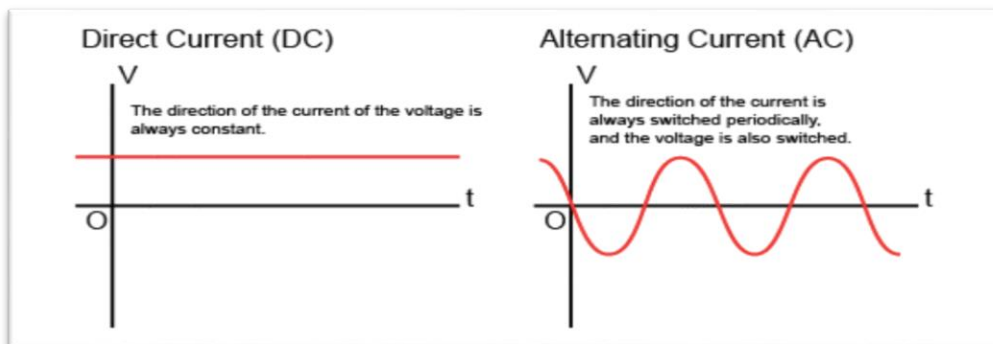
Η δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση μετέτρεψε το μεγάλο τεχνολογικό σύστημα σε κάτι πιο κοινότυπο και γνώσιμο προς τον χρήστη. Ο σιδηρόδρομος, τα τηλεγραφικά δίκτυα, η παροχή φυσικού αερίου, ύδρευσης και αποχέτευσης υπήρχαν ήδη εκείνη την εποχή και εξελισσόταν διαρκώς, αλλά προστέθηκαν σταδιακά στις βιομηχανίες και νεότερα ευρήματα που ήταν το τηλέφωνο και το ηλεκτρικό ρεύμα.

Μέχρι το 1850, η εποχή του σιδήρου είχε καθιερωθεί πλήρως. Αλλά για πολλές χρήσεις, ο σίδηρος ήταν κατώτερος από τον χάλυβα. Η φθορά των εξαρτημάτων των μηχανών από απλό σίδηρο τα έκανε ακριβά στη χρήση και δεν είχε την απαιτούμενη ανθεκτικότητα και ελαστικότητα. Ως αποτέλεσμα ανακαλύφθηκαν νέα κράματα μετάλλων για την εφαρμογή σε βιομηχανικά συστήματα.

Εξελίχθηκε και η οργανική χημεία, η οποία ήταν ένα από τα σημαντικότερα παραδείγματα για το πώς η επιστημονική γνώση μπορεί να επηρεάσει ραγδαία τις τεχνικές παραγωγής. Η δημιουργία τεχνητού χρώματος και βαφής, καθώς και η εξέλιξη της φαρμακοβιομηχανίας αποτελούν βασικά στοιχεία αναφοράς.

Η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας ως πρωταρχικού μέσου μετάδοσης και ενέργειας ήταν τεχνικά ακόμη πιο δύσκολη, ακόμη και από την ανάπτυξη του τηλέγραφου. Προτού μπορέσει να λειτουργήσει, έπρεπε να επινοηθεί ένας αποτελεσματικός τρόπος για την παραγωγή ηλεκτρισμού χρησιμοποιώντας άλλες πηγές ενέργειας.

Ήταν απαραίτητη η δημιουργία συσκευών για τη μετατροπή του ηλεκτρισμού σε άλλες μορφές ενέργειας όπως η κινητική, το φως και η θερμότητα στο άκρο λήψης. Εξίσου σημαντική ήταν και η ανάπτυξη ενός τρόπος μετάδοσης ρεύματος σε μεγάλες αποστάσεις. Επιπλέον, ο ηλεκτρισμός είχε δύο μορφές, εναλλασσόμενο και συνεχές ρεύμα και έπρεπε να ληφθεί απόφαση σχετικά με το ποια από τις δύο μορφές θα κυριαρχούσε στα παραγωγικά συστήματα και θα έχε την μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. [5]



Εικόνα 2:  
Συνεχόμενο  
και

εναλλασσόμενο ρεύμα [6]

## 1.2. Βιομηχανία 3.0

Η διαδρομή από την δεύτερη βιομηχανική επανάσταση στην τρίτη κατέστη δυνατή χάρη στην ανάπτυξη του υπολογιστή. Από τη δεκαετία του 1970, τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικά περιβάλλοντα. Η παραγωγή προχώρησε περαιτέρω μέσω της αυτοματοποίησης με ηλεκτρονικά, IT συστήματα και προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC). Οι διαδικασίες των μηχανών θα μπορούσαν να ελεγχθούν πολύ πιο αποτελεσματικά, μειώνοντας στο ελάχιστο την ανθρώπινη παρέμβαση. Αυτό ήταν ένα τεράστιο βήμα μπροστά σε σύγκριση με τη σειρά παραγωγής, καθώς οι κινητήρες ήταν πλέον αυτοματοποιημένοι.

Τα χειριστήρια και τα εξαρτήματα των τσιπ γίνονταν όλο και πιο αποτελεσματικά και μικρότερα, έτσι τα ηλεκτρονικά εξελίσσονταν γρήγορα. Όλο και περισσότερες συσκευές θα μπορούσαν να εξοπλιστούν με μια μορφή νοημοσύνης, πραγματοποιώντας έτσι αυτόματα πολλές λειτουργίες. Ταυτόχρονα, ήταν πλέον δυνατή η καταγραφή ολοένα και περισσότερων δεδομένων που προέρχονται από την αυτοματοποίηση. Ωστόσο, το πρόβλημα με αυτά τα δεδομένα ήταν ότι ήταν πάντα διαθέσιμα με χρονική καθυστέρηση ή εκ των υστέρων. Αυτό σήμαινε ότι η νέα γνώση μπορούσε να αποκτηθεί μόνο αργά και να ανατροφοδοτηθεί στον αυτοματισμό.

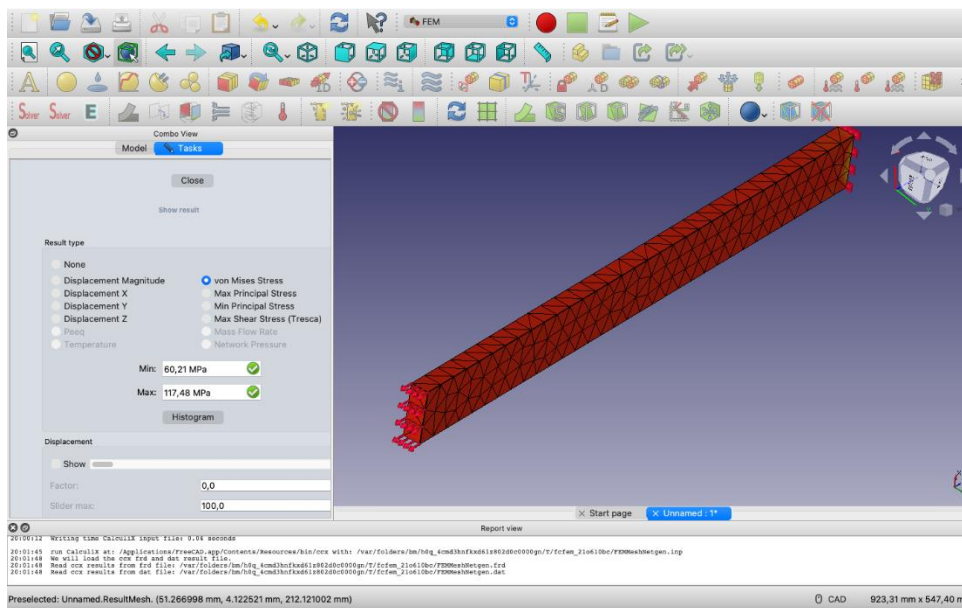
### Βάσεις Δεδομένων

Αναπτύσσεται η διαχείριση των βάσεων δεδομένων μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Οι πρόσφατες εξελίξεις επέτρεψαν σε πολλούς ανθρώπους να αποκτήσουν πρόσβαση σε μεγάλο όγκο πληροφοριών. Συγκεκριμένα, πλέον ένα αυξανόμενο μέρος του δημοσιευμένου υλικού διατηρείται σε ψηφιακή μορφή κάνοντας το κατάλληλο για άμεση είσοδο σε υπολογιστή. Επίσης ο εξοπλισμός που απαιτείται για την ανάκριση ενός απομακρυσμένου υπολογιστή είναι ευρέως διαθέσιμος και εύκολος στην χρήση, χωρίς να απαιτείτε κάποια εξειδίκευση.

### Cad Cam

Η σχεδίαση με τη βοήθεια υπολογιστή, ονομαζόμενη CAD ( Computer Aided Design ) , συνίσταται στη διάθεση του σχεδιαστή. Γίνεται πλέον δυνατός ο ορισμός μιας περιγραφικής σκηνής σε δύο ή και τρεις διαστάσεις, μπορεί να τροποποιηθεί και να γίνει οπτική αναπαράσταση της σε ένα γραφικό τερματικό. Υπάρχουν λοιπόν οι ιδανικές συνθήκες για να βοηθηθεί ο σχεδιαστής στο έργο του, χρησιμοποιώντας όμως, αυτή τη φορά, ένα όργανο ιδιαίτερα υψηλής ισχύος.

Το υπολογιστικό δυναμικό του υπολογιστή επιτρέπει τη διεξαγωγή ενός ευρέος φάσματος δοκιμών, όπως η καταπόνηση από δυνάμεις, η ελαστικότητα και πολλά άλλα, χωρίς αρνητικές επιπτώσεις στο μοντέλο του αντικειμένου που πρόκειται να σχεδιαστεί, όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.



Εικόνα 3: Παράδειγμα καταπόνησης μίας ράβδου.

Οι δυνατότητες αποθήκευσης μνήμης που είναι διαθέσιμες τώρα παρέχουν πρόσβαση σε βιβλιοθήκες μοντέλων που μπορούν να χρησιμεύσουν ως αναφορές. Τα δίκτυα επικοινωνίας μεταξύ υπολογιστών διασφαλίζουν την αποτελεσματική διαχείριση του μοντέλου από το γραφείο σχεδιασμού μέχρι τον τόπο κατασκευής. Έτσι, τα δεδομένα που δημιουργεί και χειρίζεται ο σχεδιαστής μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας. Αυτή η τελευταία διαδικασία ονομάζεται κατασκευή με τη βοήθεια υπολογιστή (CAM) και αποτελεί άμεση ανάπτυξη από το CAD. Δηλαδή χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα:

- Οθόνες γραφικών υψηλής ανάλυσης, ικανές να εμφανίζουν τις πιο σύνθετες εικόνες
- Υψηλή υπολογιστική ταχύτητα
- Υψηλή ισχύ αποθήκευσης.

Η εξέλιξη αυτή έχει διευρύνει την χρήση των εργαλείων του υπολογιστή και του σχεδιασμού βιομηχανικών προϊόντων φέρνοντας έτσι υψηλά οφέλη όπως αυξημένη δημιουργικότητα, μεγαλύτερη εργονομία και ταχύτητα.[7]



Εικόνα 4: Τα σχέδια του Ivan Sutherland σε CAD το 1963.[8]

### PLC

Οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές δηλαδή τα PLC ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται για εφαρμογές στους αυτοματισμούς των παραγωγικών συστημάτων από το 1960. Αρχικά σχεδιάστηκαν με σκοπό να αντικαταστήσουν τους ηλεκτρομηχανολογικούς πίνακες ελέγχου όπου μέχρι τότε χρησιμοποιούνταν κυρίως τα ρελέ.

Το PLC παρέχει χρονισμό, συνδυαστική λογική και διαδοχικό λογικό έλεγχο για την αυτοματοποίηση παραγωγικών συστημάτων και διαδικασιών. Σε αντίθεση με έναν υπολογιστή γενικής χρήσης, το PLC είναι μια ισχυρή συσκευή, ανθεκτική σε σκληρά περιβάλλοντα. Έχει σχεδιαστεί για να διευκολύνει τη σύνδεση των αισθητήρων, των διαφορών οργάνων και των ενεργοποιητών μέσω του συστήματος εισόδου εξόδου I/O. Για τα περισσότερα συστήματα PLC, οι είσοδοι και εξοδοι διαχωρίζονται μόνο σε κάρτες εισόδου και μόνο εξόδου. Οι κάρτες εισάγονται σε μια υποδοχή που διευκολύνει τη σύνδεση με τη σπονδυλωτή κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) του PLC για την σωστή διευθυνσιοδότηση και την συνδεσιμότητα των δεδομένων.

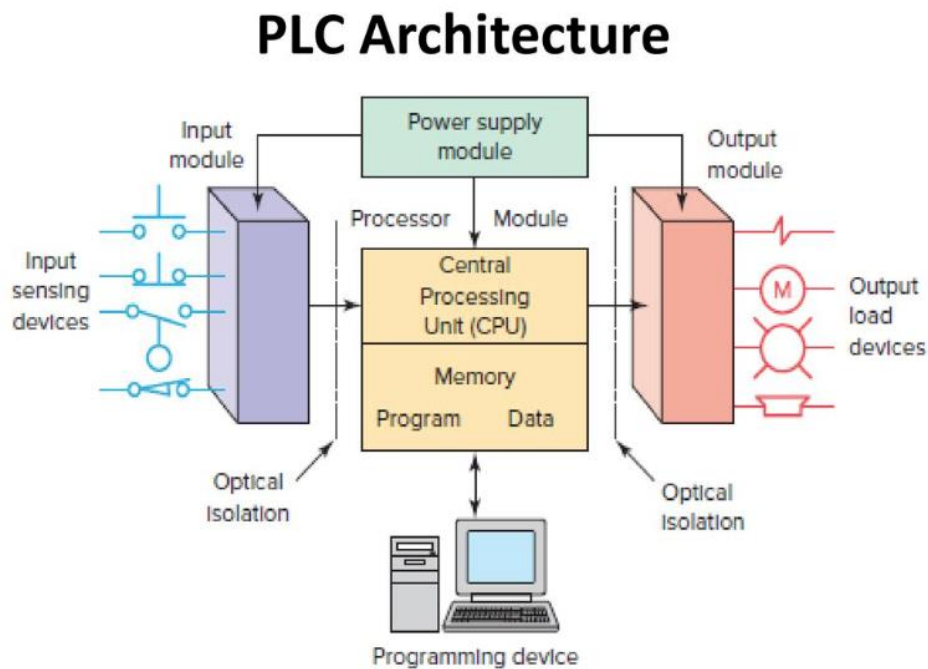
Οι κατηγορίες των καρτών είναι:

- I. Κάρτα στήριξης (rack)
- II. Τροφοδοτικό
- III. Κάρτα σημάτων (Signal Mode) αναλογικών, ή ψηφιακών εισόδων και εξόδων.
- IV. Κάρτα επικοινωνίας (SM)
- V. Λοιπές κάρτες

Τα σήματα εισόδου που λαμβάνονται από το PLC μέσω των μονάδων εισόδου ρυθμίζονται και μετατρέπονται σε ψηφιακές τιμές δεδομένων συμβατές με τη CPU. Όλες οι ψηφιακές εισοδοι και εξοδοι αποθηκεύονται στην προσωρινή μνήμη για να προστατεύουν τον κεντρικό επεξεργαστή από εξωτερικά μεταβατικά σήματα και να επιτρέπουν στον επεξεργαστή να λειτουργεί ανεξάρτητα από της χρονικές μεταβλητές της I/O ανάγνωσης-εγγραφής και κλιματισμού σήματος. Οι ψηφιακές εισοδοι σχηματίζουν μια "εικόνα εισόδου" που αποθηκεύεται στο ρυθμιστή (buffer). Η μνήμη διαθέτει ένα σταθερό λειτουργικό σύστημα που ενσωματώνει έναν διερμηνέα που ερμηνεύει το "πρόγραμμα ελέγχου" που έχει γράψει ο χρήστης.



Το πρόγραμμα ελέγχου καθορίζει τη λογική λειτουργία που εκτελείται στην κατάσταση των εισόδων, εξόδων και τυχόν μετρητών ή χρονοδιακοπών που διατηρούν το αρχείο της προόδου της διαδικασίας υπό έλεγχο. Τα δεδομένα εισόδου και το πρόγραμμα ελέγχου καθορίζουν πως ο κεντρικός επεξεργαστής θα ρυθμίσει τις εξόδους του συστήματος. Τα αποτελέσματα των εξόδων αποθηκεύονται σε ένα ρυθμιστή και αναφέρονται ως "εικόνα εξόδου". Οι μονάδες εξόδου μετατρέπουν την εικόνα εξόδου σε ηλεκτρικά σήματα ελέγχου και έτσι λειτουργούν οι βαλβίδες, οι κινητήρες και άλλες συσκευές στη μονάδα ή στο μηχάνημα υπό τον προκαθορισμένο έλεγχο. [9]



Εικόνα 5: Αναπαριστά την αρχιτεκτονική του PLC, κέντρο έχουμε την μονάδα παροχής ενέργειας η οποία διακλαδώνεται από αριστερά αρχικά στην μονάδα συλλογής δεδομένων εισόδου και έπειτα στις συσκευές εισόδου, στο κέντρο υπάρχει η μονάδα του επεξεργαστή και μετά υπάρχει διπλή αλληλεπίδραση με την συσκευή όπου πραγματοποιείτε ο προγραμματισμός του PLC, τέλος από τα δεξιά υπάρχει η μονάδα δεδομένων εξόδου και δίπλα οι συσκευές εξόδου. [10]

ICS

Τα Συστήματα Βιομηχανικού Ελέγχου (ICS) είναι ένα από τα σημαντικότερα τμήματα της λειτουργικής τεχνολογίας. Ο στόχος του ICS είναι ο έλεγχος και η παρακολούθηση των φυσικών διεργασιών σε μια βιομηχανική τοποθεσία. Για να γίνει αυτό, το ICS χρησιμοποιεί διάφορους τύπους στοιχείων, όπως αισθητήρες, ελεγκτές και ενεργοποιητές. Το ICS ελέγχει συνήθως διεργασίες που σχετίζονται με υποδομές μεγάλης σημασίας και επομένως συνοδεύεται από την απαίτηση υψηλής διαθεσιμότητας.

Το SCADA είναι ένας αξιολογούμενος τύπος ICS που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο στοιχείων τα οποία μπορούν να κατανεμηθούν σε χιλιάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα. Υπάρχουν τέσσερις κύριες λειτουργίες ενός συστήματος SCADA. Πρώτον, έχει σχεδιαστεί για τη συλλογή δεδομένων πεδίου, τα δεδομένα αυτά έρχονται από διαφορετικές συσκευές

πεδίου, πρωτόκολλων και αισθητήρων. Δεύτερον, το σύστημα επιτρέπει την καλύτερη επικοινωνία μεταξύ των συμμετεχόντων στοιχείων, αυτό συμβαίνει μέσω συγκεκριμένων πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Επίσης το σύστημα SCADA επιτρέπει να παρουσιάζονται οι πληροφορίες είτε γραφικά είτε την μορφή κειμένου. Έτσι γίνεται δυνατόν για τον χειριστή να παρακολουθεί και να ελέγχει ολόκληρο το σύστημα από μια κεντρική τοποθεσία σε πραγματικό χρόνο. Ανάλογα με τη ρύθμιση του συστήματος, μεμονωμένες λειτουργίες ή εργασίες μπορούν είτε να ελέγχονται αυτόματα είτε με εντολές του χειριστή.

Ένα Κατανεμημένο Σύστημα Ελέγχου (DCS) είναι ένα σύστημα που καθοδηγείται από την ίδια την διαδικασία. Όπου το σύστημα SCADA στοχεύει να συλλέξει και να παρουσιάσει δεδομένα από μια τοποθεσία, το DCS είναι υπεύθυνο για να παρακολουθεί και να επιβλέπει τους επιμέρους ελεγκτές, αισθητήρες και ενεργοποιητές που είναι κατανεμημένοι σε όλη την εγκατάσταση. Το DCS περιέχει συχνά πολλαπλούς προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC) που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο συγκεκριμένων εφαρμογών ή διεργασιών, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Μέσω δικτύων επικοινωνίας, τα PLC στέλνουν δεδομένα στο κατανεμημένο σύστημα ελέγχου, όπου παρακολουθούνται, πριν τελικά σταλούν στο σύστημα SCADA [11]

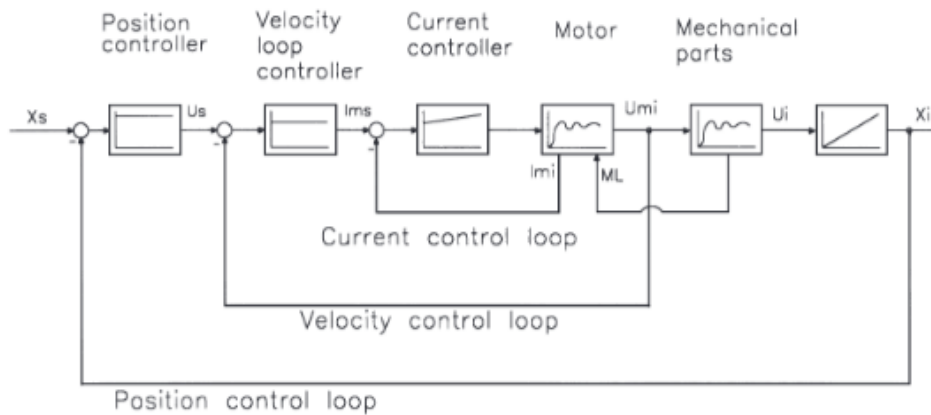
### Cnc

Οι ψηφιακές μηχανές ελέγχου είναι μηχανουργικές κατεργασίες των οποίων οι εργασίες ελέγχονται με ένα σύστημα οδηγίας τριών αξόνων, έτσι οι λειτουργίες χειρισμού τους να είναι συνδυασμοί γραμμάτων, συμβόλων και αριθμών που συνολικά δημιουργούν το πρόγραμμα CNC. Ο ρόλος των ψηφιακών μηχανών ελέγχου είναι η σύνδεση του υπολογιστή με τη μηχανή καθώς και του μεταφραστή που υπάρχει ανάμεσά των δύο, ο οποίος είναι απαραίτητος καθώς ο υπολογιστής δεν μπορεί να διαβάσει την γλώσσα μηχανής και αντίστοιχα η μηχανή δεν μπορεί να καταλάβει την γλώσσα υπολογιστή.

Το CNC αποτελείται από τρία βασικά μέρη:

- Μηχανή(που εκτελεί την λειτουργία).
- Έλεγχος (ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο των κινητήρων της μηχανής).
- Υπολογιστής (οπού προγραμματίζουμε την επιθυμητή λειτουργία της μηχανής και μπορούμε να αποθηκεύσουμε τα δεδομένα στις θέσεις μνήμης του).

Η λειτουργία των μηχανών Cnc ξεκινάει με την εισαγωγή του προγράμματός στον επεξεργαστή του. Γίνεται η επεξεργασία όλων των δεδομένων και σύμφωνα με το πρόγραμμα που έχει ετοιμαστεί, προετοιμάζονται όλες τις εντολές κίνησης και δίνονται στο σύστημα υπεύθυνο για την κίνηση. Το σύστημα κίνησης διαχειρίζεται την κίνηση και την ταχύτητα της εργαλειομηχανής. Στην συνέχεια, το σύστημα ανατροφοδότησης καταγράφει τις μετρήσεις θέσης και ταχύτητας της εργαλειομηχανής και επιστρέφει ένα σήμα στον επεξεργαστή. Στο επεξεργαστή, τα δεδομένα του σήματος συγκρίνονται με τα σήματα αναφοράς και εάν προκύψουν σφάλματα, διορθώνονται και στέλνονται νέα ανανεωμένα σήματα στην εργαλειομηχανή προς διόρθωση [12] , όπως φαίνεται και πιο αναλυτικά στο διάγραμμα της παρακάτω εικόνας.



Εικόνα 6: Διάγραμμα του συστήματος ελέγχου CNC [13]

Έτσι προκύπτει ότι το κύριο χαρακτηριστικό των μηχανημάτων CNC είναι η δυνατότητα χειρισμού πολλών υλικών με μεγάλη ακρίβεια. Είναι ευκολότερο χάρη σε αυτά να γίνει η επεξεργασία υλικών μεγάλου πάχους. Επίσης το γεγονός ότι το πρόγραμμα είναι μέσω υπολογιστή, επιτρέπει την παραγωγή ίδιων προϊόντων κάθε φορά μειώνοντας την πιθανότητα λάθους και το κόστος παραγωγής, αφού τα δεδομένα του παραμένουν αποθηκευμένα στην μνήμη.[14]

### 1.3. Μετάβαση από την Βιομηχανία 3.0 στην Βιομηχανία 4.0

Η τρίτη βιομηχανική επανάσταση έχει επιφέρει σημαντικές τεχνολογικές προόδους στον τομέα της μεταποίησης. Ωστόσο, ορισμένες από αυτές τις τεχνολογίες ενδέχεται να απαιτούν περαιτέρω ανάπτυξη για να αξιοποιήσουν πλήρως τις δυνατότητές τους. Επίσης παρά την υψηλή παραγωγικότητα και την μείωση κόστους που έχει προσφέρει λόγω της συνεχούς τεχνολογικής εξέλιξης παρουσιάζονται συχνά έλλειψη στον χώρο της παραγωγής και της βιομηχανίας.

Ένα από τα κύρια πράγματα που έλειπε στη Βιομηχανία 3.0 ήταν η ικανότητα αποτελεσματικής επικοινωνίας μεταξύ μηχανών και ανθρώπων. Ενώ οι μηχανές γίνονταν όλο και πιο αυτοματοποιημένες κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, ήταν σε μεγάλο βαθμό απομονωμένες η μία από την άλλη και σύγχρονος ακόμα περισσότερο από τους ίδιους τους ανθρώπους. Αυτό σήμαινε ότι οι κατασκευαστές έπρεπε να βασίζονται σε χειροκίνητες διαδικασίες και ανθρώπινη διαίσθηση για τον εντοπισμό και την αντιμετώπιση προβλημάτων, που οδηγούσαν σε αναποτελεσματικότητα, σπατάλη χρόνου και χρήματος.

Η ικανότητα παραγωγής εξατομικευμένων προϊόντων σε μαζική κλίμακα ήταν αντιστρόφως ανάλογη με την ανάπτυξη της βιομηχανίας αυτής. Ενώ οι διαδικασίες της γραμμής συναρμολόγησης επέτρεψαν στους κατασκευαστές να παράγουν μεγάλες ποσότητες πανομοιότυπων προϊόντων γρήγορα, δεν ήταν κατάλληλες για την παραγωγή προσαρμοσμένων προϊόντων ή μικρών παρτίδων. Αυτό σήμαινε ότι οι κατασκευαστές συχνά

κολλούσαν στην παραγωγή μιας περιορισμένης γκάμας προϊόντων και δεν ήταν σε θέση να ανταποκριθούν γρήγορα στις αναδυόμενες τάσεις. Με αυτόν τον τρόπο αυξανόταν οι απαιτήσεις και ανταγωνισμός για τις μεγάλες παραγγελίες πελατών και παραμερίζονταν οι μικρότερες παραγγελίες, κάνοντας τα παραγόμενα προϊόντα τυποποιημένα. Επίσης έλειπε η ικανότητα άμεσης προσαρμογής στις μεταβαλλόμενες συνθήκες της αγοράς. Αυτό σήμαινε ότι οι κατασκευαστές συχνά δεν μπορούσαν να επωφεληθούν από τις αναδυόμενες τάσεις ή να ανταποκριθούν γρήγορα στις αλλαγές των προτιμήσεων των καταναλωτών.

Η εξέλιξη στην αυτοματοποίηση ήταν ραγδαία για την εποχή, όμως η αποτελεσματική αυτοματοποίηση πολύπλοκων διαδικασιών εξακολουθούσε να είναι δύσκολη και πολύ χρονοβόρα. Οι δυνατότητές τους ήταν περιορισμένες και απαιτούσαν σημαντική ανθρώπινη εργασία για να λειτουργήσουν αποτελεσματικά. Αυτό σήμαινε ότι οι διαδικασίες παραγωγής ήταν συχνά αργές και αναποτελεσματικές και οι κατασκευαστές έπρεπε να βασίζονται σε μεγάλο και ακριβό εργατικό δυναμικό. Επίσης καθώς στόχος ήταν η μαζική και γρήγορη παραγωγή δεν είχε δοθεί η απαιτούμενη σημασία σε μεθόδους επίβλεψης και ελέγχου του παραγόμενου προϊόντος, ή εξοικονόμησης της πρώτης ύλης. Αυτό σήμαινε ότι πολλές διαδικασίες παραγωγής ήταν αναποτελεσματικές και είχαν ως αποτέλεσμα μεγάλο αριθμό αποβλήτων και υψηλή ατμοσφαιρική ρύπανση.

Εκτός από τους παραπάνω περιορισμούς η τεχνολογική εξέλιξη της Βιομηχανίας 3.0 παρουσίασε αυξημένα ρίσκα σε διάφορους τομείς, με το σημαντικότερο από αυτά να είναι η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο.

Καθώς η βιομηχανία βασιζόταν σε μεγάλο βαθμό στην τεχνολογία των πληροφοριών, ως αποτέλεσμα δημιουργήθηκαν νέοι κινδύνους για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο. Η αυξημένη συνδεσιμότητα των συστημάτων παραγωγής και ο πολλαπλασιασμός των συνδεδεμένων συσκευών έχουν κάνει τα βιομηχανικά συστήματα ελέγχου πιο προσιτά στους εγκληματίες του κυβερνοχώρου. Οι επιθέσεις στον κυβερνοχώρο μπορούν να προκαλέσουν σημαντική ζημιά στις επιχειρήσεις, ιδιαίτερα στις βιομηχανίες. Συγκεκριμένα συχνά παραδείγματα αποτελούν αυτά των παραβιάσεων δεδομένων, της κλοπής πνευματικής ιδιοκτησίας, των λειτουργικών διαταραχών και κλοπής οικονομικών πόρων. Σύμφωνα με έρευνα της Deloitte, το 47% των κατασκευαστικών εταιρειών υπέστη κυβερνοεπίθεση το 2019 και το 31% από αυτές ως αποτέλεσμα υπέστησαν μεγάλες οικονομικές απώλειες.[15]

Συμπερασματικά, ενώ η τρίτη βιομηχανική επανάσταση αντιπροσώπευε ένα σημαντικό άλμα προς τα εμπρός στην κατασκευή, την παραγωγή και την τεχνολογική εξέλιξη, έλειπαν από αυτήν αρκετές βασικές δυνατότητες που δημιούργησαν την ανάγκη της μετάβασης σε μια καινούργια βιομηχανία. Οι περιορισμοί της βιομηχανίας αυτής, συμπεριλαμβανομένης της εξάρτησής της από τις χειροκίνητες διαδικασίες, την ανθρώπινη διαίσθηση, την πλέον περιορισμένη διαθεσιμότητα δεδομένων, τις άκαμπτες και τυποποιημένες διαδικασίες παραγωγής και του αναποτελεσματικού αυτοματισμού, συνέβαλαν στην ανάπτυξη της λεγόμενης Βιομηχανίας 4.0 η οποία υποσχόταν να προσφέρει πολλά καινούργια οφέλη, όπως αυξημένη απόδοση, ευελιξία και μεγαλύτερη βιωσιμότητα.

## 2. Βιομηχανία 4.0

Η επανάσταση στην βιομηχανία 4.0 αναγνωρίστηκε πρώτα το 2011 από την γερμανική κυβέρνηση, η οποία περιγράφει την τέταρτη βιομηχανική επανάσταση στην ιστορία ως εκείνη που έχει ως στόχο την εξέλιξη της επικοινωνίας και της τεχνολογίας των πληροφοριών. Ωστόσο, οι ερευνητές έχουν διαφορετικές απόψεις για τις απαιτήσεις της βιομηχανίας 4.0 και των επιτεύξεων της. Είναι προφανές ότι η σύγχρονη βιομηχανία είναι ένα αρκετά γενικευμένο θέμα, που απευθύνεται σε πολλά πεδία.

Συγκεκριμένα:

### Βιομηχανίες.

Οι βιομηχανίες είναι σίγουρα το κυριότερο πεδίο από τα οποία απευθύνεται η βιομηχανική επανάσταση. Οι βιομηχανία μπορεί περιλαμβάνει ένα ολοκληρωμένο σύστημα, όπου όχι μόνο όλοι οι κατασκευαστικοί πόροι (αισθητήρες, ενεργοποιητές, μηχανές, ρομπότ, μεταφορείς κ.λπ.) συνδέονται και μπορούν να ανταλλάσσουν πληροφορίες αυτόματα μεταξύ τους, αλλά και ολόκληρη η παραγωγή αποκτά της δική της νοημοσύνη και είναι ικανή να προβλέψει για την συντήρηση των μηχανών, για τον έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας και να διαχειριστεί ολόκληρο το εργοστασιακό σύστημα. Επιπλέον, πολλές άλλες διαδικασίες παραγωγής, όπως αυτή του σχεδιασμού προϊόντων, της διαχείρισης και του προγραμματισμού της παραγωγής, και υπηρεσιών, μπορούν να προσομοιωθούν και να εκτελούνται από ένα κεντρικό σύστημα αυτόματα.

### Επιχειρήσεις.

Η Βιομηχανία 4.0 αναφέρεται στην ύπαρξη ενός πλήρους δικτύου επικοινωνίας μεταξύ διαφόρων εταιρειών, εργοστασίων, προμηθευτών, πόρων και πελατών. Κάθε τμήμα βελτιστοποιεί τη διαμόρφωσή του σε πραγματικό χρόνο ανάλογα με τις απαιτήσεις και την κατάσταση των σχετικών τμημάτων στο υπάρχων δίκτυο, προκειμένου να επιτευχθεί το μέγιστο δυνατό κέρδος για όλες τις συνεταιριστικές εταιρείες με τους την καλύτερη δυνατή εξοικονόμηση από τους κοινούς πόρους. Επιπλέον, είναι απαραίτητη η μείωση των δαπανών, της αλόγιστης ρύπανσης, της σπατάλης πρώτων υλών και των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Με άλλα λόγια, το μελλοντικό επιχειρηματικό δίκτυο επηρεάζεται από κάθε συνεργαζόμενο τμήμα, το οποίο μπορεί να επιτύχει μια αυτό-οργανωτική κατάσταση και να μεταδίδει τις ανταποκρίσεις του σε πραγματικό χρόνο.

### Παραγόμενα Προϊόντα

Επωφελούμενο από τη Βιομηχανία 4.0, θα είναι ένας νέος τύπος προϊόντος που παράγεται κυρίως μέσω της μεταποίησης, αυτός των λεγόμενων "έξυπνων προϊόντων". Τα προϊόντα αυτά είναι ενσωματωμένα με αισθητήρες, εξαρτήματα αναγνώρισης και επεξεργαστές που φέρουν πληροφορίες και γνώσεις, για να μεταφέρουν μια λειτουργική καθοδήγηση στους

πελάτες ή χειριστές και να συλλέξουν δεδομένα με σκοπό να τα ανατροφοδοτήσουν στο σύστημα παραγωγής. Με αυτόν τον τρόπο, πολλά λειτουργίες θα μπορούν να προστεθούν στα προϊόντα, αναλόγως των απαιτήσεων του κοινού στο οποίο απευθύνονται. Για παράδειγμα, η μέτρηση της κατάστασης των προϊόντων ή των χρηστών και η μεταφορά της πληροφορίας αυτής, η παρακολούθηση των προϊόντων και η ανάλυση των αποτελεσμάτων της παρακολούθησης. Επιπλέον, ένας πλήρης κύκλος παραγωγής πληροφοριών μπορεί να βοηθήσει στην εξέλιξη του προϊόντος, βοηθώντας τον προγραμματιστή του προϊόντος στη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού, στην πρόβλεψη, και ίσως την συντήρηση.

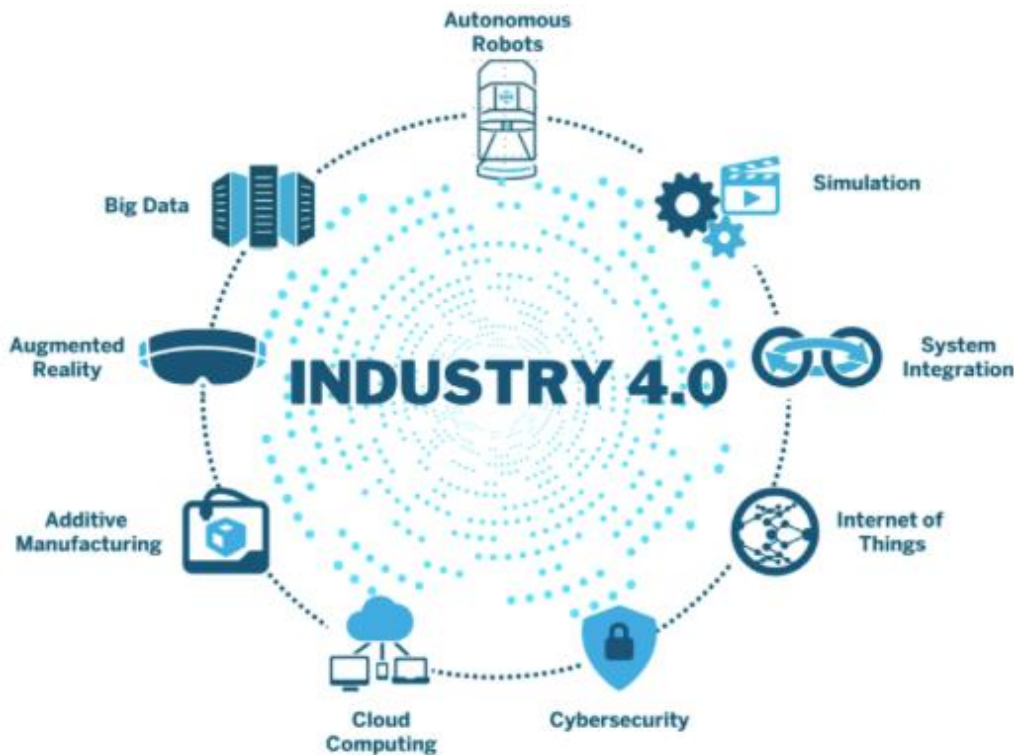
#### ❑ Δίκτυο Χρηστών

Οι τελικοί χρήστες έχουν επίσης πολλά πλεονεκτήματα στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0. Μια νέα μέθοδος αγοράς έχει ήδη γίνει γνωστή στους χρήστες. Επιτρέποντάς τους να παραγγέλνουν οποιαδήποτε λειτουργία προϊόντων, οποιονδήποτε ποσότητα, ακόμη και αν μόνο ένα είναι. Επίσης εύκολο είναι να αλλάξουν την παραγγελία τους και ιδέες ανά πάσα στιγμή κατά τη διάρκεια της παραγωγής, ακόμη και την τελευταία στιγμή χωρίς καμία επιβάρυνση.[16] Από την άλλη πλευρά, το όφελος από τα έξυπνα προϊόντα επιτρέπει στον τελικό χρήστη όχι μόνο να γνωρίζει τις πληροφορίες παραγωγής του προϊόντος αλλά και να λαμβάνει τις συμβουλές χρήσης ανάλογα με τις επιθυμίες που μπορεί να έχει χάρη στην ραγδαία ανάπτυξη και εξέλιξη του δικτύου εξυπηρέτησης πελατών.

## 2.1 Τεχνολογικές εξελίξεις της Βιομηχανίας 4.0

Η βιομηχανία 4.0 έχει ευρύ φάσμα πλεονεκτημάτων και καινοτομιών που επιτρέπουν αποτελεσματικές και ακριβείς επιλογές μηχανισμών και τεχνολογιών σε πραγματικό χρόνο, συνδυάζοντας πολλές πληροφορίες με τις νέες τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών (ICT) στα συστήματα παραγωγής. Οι τεχνολογικές ροές αποτελούν κρίσιμο συστατικό στοιχείο της Βιομηχανίας 4.0, η σύζευξη των ψηφιακών τεχνολογιών και των τεχνολογιών λειτουργίας και παραγωγής μπορεί να επιτρέψει την κάθετη ολοκλήρωση των ενδοοργανωτικών συστημάτων και την οριζόντια ολοκλήρωση των δια-οργανωτικών συστημάτων μέσω του IoT, των υπηρεσιών δεδομένων και του Cloud.

Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες που εμπλέκονται σε αυτή την παγκόσμια τάση: τα συστήματα κυβερνώ-ασφάλειας που συνδυάζουν διάφορες τεχνολογίες τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών (CPSs), blockchain, τεχνητή νοημοσύνη (AI), ψηφιακά δίδυμα, το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), η διαχείριση μεγάλων δεδομένων, το cloud computing και η προσθετική κατασκευή, η επαυξημένη πραγματικότητα και τα αυτόνομα ρομπότ. [17]



Εικόνα 7: Βασικοί όροι της Βιομηχανίας 4.0 [18]

### 2.1.1 Συστήματα Κυβερνώ-Ασφαλείας

Οι επιθέσεις στον κυβερνοχώρο αποτελούν ένα αυξανόμενο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν διάφοροι οργανισμοί, από επιχειρήσεις έως και κυβερνήσεις. Συνήθως οι απώλειες μετρούνται με εκτιμήσεις των οικονομικών παραγόντων. Ωστόσο, οποιαδήποτε προσπάθεια για ένα ακριβές συνολικό ποσό σε δολάρια ή άλλες απώλειες δυνατοτήτων που αντιπροσωπεύουν τους αυξανόμενους κινδύνους των επιθέσεων στον κυβερνοχώρο είναι λιγότερο σημαντική από το αυξανόμενο σύνολο των αιτιών που συμβάλλουν σε μεγαλύτερο κίνδυνο. Οι κυριότερες αιτίες περιλαμβάνουν, και σε καμία περίπτωση δεν περιορίζονται σε:

- Μεγάλη ανασφάλεια όσον αφορά την αλυσίδα εφοδιασμού, μέσω δικτύων επικοινωνίας, ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και λογισμικού.
- Αφορά ένα σταθερά αυξανόμενο ποσοστό τεχνικά εξελιγμένων και οργανωμένων αντιπάλων.
- Αυξανόμενη τάση να βασίζονται σε πρότυπα και πρακτικές διασφάλισης πληροφοριών αντί των προσεγγίσεων της μηχανικής συστημάτων για τις απαιτήσεις ασφάλειας. [19]

Ο κυβερνοχώρος υποδηλώνει τη συγχώνευση όλων των δικτύων επικοινωνίας, των βάσεων δεδομένων και των πηγών πληροφοριών σε ένα τεράστιο, μπερδεμένο και ποικιλόμορφο κάλυμμα ηλεκτρονικών ανταλλαγών. Ο κυβερνοχώρος, ωστόσο, δεν είναι μόνο εικονικός, αφού αποτελείται επίσης από διακομιστές, καλώδια, υπολογιστές, δορυφόρους και πολλά άλλα. Στη καθημερινή χρήση τείνουμε να χρησιμοποιούμε τους όρους κυβερνοχώρος και διαδικτυο σχεδόν εναλλακτικά, όμως διαδικτυο αποτελεί μόλις ένα υποσύνολο του κυβερνοχώρου.

Η κυβερνοασφάλεια αφορά τόσο την ανασφάλεια που δημιουργείται από και μέσω αυτού του νέου τόπου/χώρου όσο και τις πρακτικές ή διαδικασίες για να γίνει όσο περισσότερο ασφαλής μπορεί να γίνει. Αναφέρεται σε ένα σύνολο δραστηριοτήτων και μέτρων, τόσο τεχνικών όσο και μη τεχνικών, που αποσκοπούν στην προστασία του διηλεκτρικού περιβάλλοντος και των δεδομένων που περιέχει και μεταφέρει από όλες τις πιθανές απειλές.

Ο όρος που χρησιμοποιείται για τα εργαλεία μιας κυβερνοεπίθεσης είναι mal-ware (malicious + software). Γνωστά παραδείγματα είναι οι ιοί και τα σκουλήκια, πρόκειται προγράμματα υπολογιστών που αναπαράγουν λειτουργικά αντίγραφα του εαυτού τους με ποικίλα αποτελέσματα που κυμαίνονται από απλή ενόχληση και ταλαιπωρία έως την παραβίαση της εμπιστευτικότητας ή της ακεραιότητας των πληροφοριών. Υπάρχουν επίσης οι δούρειοι ίπποι, προγράμματα που μεταμφιέζονται ως καλοήθεις εφαρμογές αλλά δημιουργούν ουσιαστικά μια πύλη έτσι ώστε ο χάκερ να μπορεί να επιστρέψει αργότερα και να εισέλθει στο σύστημα. Συχνά η εισβολή στο σύστημα είναι ο κύριος στόχος των πιο προηγμένων επιθέσεων: αν ο εισβολέας αποκτήσει πλήρη έλεγχο του συστήματος ή πρόσβαση, έχει ελευθερία εισόδου στις εσωτερικές λειτουργίες του συστήματος. Λόγω των χαρακτηριστικών των ψηφιακά αποθηκευμένων πληροφοριών, ένας εισβολέας μπορεί να καθυστερήσει, να διαταράξει, να αλλοιώσει, να εκμεταλλευτεί, να καταστρέψει, να κλέψει και να τροποποιήσει πληροφορίες.[20] Μια γενικότερη ταξινόμηση για τις κατηγορίες απειλών είναι:

- i. πειρατεία
- ii. παραποίηση
- iii. αντίστροφη μηχανική.

Υπάρχουν διαφορετικοί βαθμοί έντασης σε κάθε κατηγορία απειλής, λόγω των διαφορετικών επιπέδων ικανότητας των χάκερ και της αξίας των περιουσιακών στοιχείων των επιχειρήσεων.

Έτσι προκύπτει ότι είναι απαραίτητο οι προστασίες να ενσωματωθούν στο μεγαλύτερο δυνατό εύρος που είναι πρακτικά εφικτό. Ένας καλά σχεδιασμένος συνδυασμός μπορεί να παράγει συνεργατικά αποτελέσματα όταν κάποια από τα μέτρα προστασίας αλληλοεπιδρούν με άλλα και βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα και των δύο. Αντίθετα, ένας κακοσχεδιασμένος συνδυασμός μπορεί να υπονομεύσει την αποτελεσματικότητα όταν η αποτυχία ενός μέτρου προστασίας διευκολύνει τις επιθέσεις εναντίον ενός άλλου μέτρου προστασίας.

Τα καλά σχεδιασμένα συστήματα προστασίας θα πρέπει να προστατεύονται από όλους τους σχετικούς φορείς επιθέσεων και μπορεί να χρησιμοποιούν πολλαπλά μέτρα προστασίας για



να καλύπτουν πολλαπλές κατηγορίες απειλών, πολλαπλές απειλές εντός κάθε κατηγορίας και πολλαπλά επίπεδα. [22]

Τα σύγχρονα συστήματα ασφαλείας, είναι πολύπλοκα αλλά ακολουθούν τις ίδιες βασικές αρχές. Οι αλγόριθμοι κρυπτογράφησης χρησιμοποιούνται στα συστήματα ασφαλείας, κατηγοριοποιούνται σε συμμετρικούς και ασύμμετρους αλγορίθμους που έχουν την ίδια βασική λειτουργικότητα του XOR-ing. [21] Στους συμμετρικούς, όλοι όσοι έχουν πρόσβαση στα δεδομένα και έχουν το ίδιο κλειδί. Τα κλειδιά που κρυπτογραφούν και αποκρυπτογραφούν τα μηνύματα πρέπει επίσης να παραμένουν μυστικά για να διασφαλίζεται η ιδιωτικότητα. Ενώ είναι δυνατόν να λειτουργήσει αυτό, η ασφαλής διανομή των κλειδιών για να διασφαλιστεί η ύπαρξη κατάλληλων ελέγχων καθιστά τη συμμετρική κρυπτογράφηση μη πρακτική για την ευρεία εμπορική χρήση. Στους συμμετρικούς που είναι γνωστοί και ως σύστημα δημόσιου - ιδιωτικού κλειδιού, χρησιμοποιούνται ουσιαστικά δύο κλειδιά. Το ένα κλειδί παραμένει μυστικό, το λεγόμενο ιδιωτικό κλειδί, ενώ το άλλο κλειδί είναι ευρέως διαθέσιμο σε όποιον το χρειάζεται. Αυτό το κλειδί ονομάζεται δημόσιο κλειδί. Το ιδιωτικό και το δημόσιο κλειδί είναι μαθηματικά συνδεδεμένα μεταξύ τους, οπότε το αντίστοιχο ιδιωτικό κλειδί μπορεί να αποκρυπτογραφήσει μόνο τις πληροφορίες που έχουν κρυπτογραφηθεί με το δημόσιο κλειδί.

Οι πέντε αλγόριθμοι κρυπτογράφησης που χρησιμοποιούνται συχνότερα είναι:

### Triple DES

Ο Triple DES σχεδιάστηκε για να αντικαταστήσει τον αρχικό αλγόριθμο Data Encryption Standard (DES), τον οποίο οι χάκερ έμαθαν τελικά να νικούν με σχετική ευκολία. Κάποτε, ο τριπλός DES ήταν το συνιστάμενο πρότυπο και ο συνηθέστερος συμμετρικός αλγόριθμος στη βιομηχανία. [23] Ο Triple DES λειτουργεί σε τρία βήματα: Κρυπτογράφηση-Αποκρυπτογράφηση-Ανακρυπτογράφηση (EDE). Λειτουργεί λαμβάνοντας τρία κλειδιά 56 bit (K1, K2 και K3) γνωστά ως δέσμη κλειδιών και κρυπτογραφώντας πρώτα με το K1, αποκρυπτογραφώντας στη συνέχεια με το K2 και κρυπτογραφώντας μια τελευταία φορά με το K3. Υπάρχει μια έκδοση Triple DES δύο κλειδιών, όπου ο ίδιος αλγόριθμος εκτελείται τρεις φορές, αλλά το K1 χρησιμοποιείται για το πρώτο και το τελευταίο βήμα.

Ο αλγόριθμος εκτελείται τρεις φορές επειδή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί διπλή κρυπτογράφηση. Μια κατηγορία επιθέσεων που ονομάζονται επιθέσεις meet-in-the-middle κρυπτογραφούν από το ένα άκρο, αποκρυπτογραφούν από το άλλο και αναζητούν συγκρούσεις, δηλαδή κλειδιά που παράγουν την ίδια απάντηση και στις δύο κατευθύνσεις. Με επαρκή μνήμη, ο διπλός DES ή και οποιοσδήποτε άλλος κρυπτογράφος που εκτελείται δύο φορές, θα ήταν μόνο δύο φορές πιο ισχυρός από τον βασικό κρυπτογράφο. Με άλλα λόγια, η διπλή κρυπτογράφηση θα ήταν εξίσου ισχυρή με την ίδια κρυπτογράφηση που εκτελείται μία φορά αλλά με κλειδί που είναι κατά ένα bit μεγαλύτερο. Από την άλλη, εάν ο κρυπτογράφος σχηματίζει μια ομάδα, τότε η κρυπτογράφηση δύο φορές με δύο κλειδιά είναι ισοδύναμη με την κρυπτογράφηση μία φορά με κάποιο άλλο κλειδί. Δεν είναι πάντα απαραίτητο να γνωρίζουμε το άλλο κλειδί, αλλά αυτό σημαίνει ότι μια επίθεση θα έβρισκε αυτό το τρίτο κλειδί καθώς θα δοκίμαζε όλα τα πιθανά μεμονωμένα κλειδιά. Έτσι, αν η κρυπτογράφηση είναι μια ομάδα, τότε η πολλαπλή κρυπτογράφηση είναι χάσιμο χρόνου.

Μια ομάδα είναι μια σχέση μεταξύ ενός συνόλου και ενός τελεστή. Αν συμπεριφέρονται λίγο πολύ όπως οι ακέραιοι με την πρόσθεση, τότε σχηματίζουν μια ομάδα. Αν συνεχίσετε να κρυπτογραφείτε ένα μπλοκ και αυτό κάνει ένα πλήρες κύκλωμα στο σύνολο των πιθανών μπλοκ, τότε λέμε ότι αυτό σχηματίζει μια ομάδα.

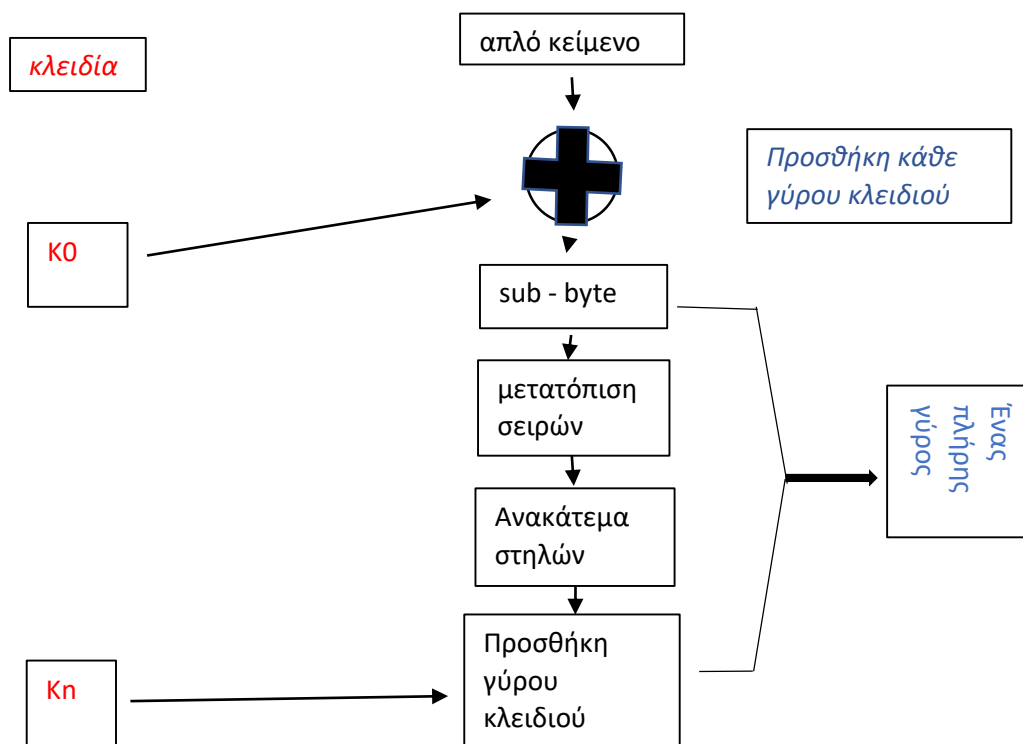
Το DES δεν είναι ομάδα, παρόλα αυτά συγγέεται από πολλούς λόγω των δομικών χαρακτηριστικών που το απαρτίζουν. Για παράδειγμα, υπάρχουν γνωστοί βρόχοι στο DES, όπου, αν συνεχίσετε να κρυπτογραφείτε με το ίδιο κλειδί, τρέχετε σε έναν μακρύ βρόχο. [24]

### AES

Ο αλγόριθμος κρυπτογράφησης AES (επίσης γνωστός ως αλγόριθμος Rijndael) είναι ένας συμμετρικός αλγόριθμος κρυπτογράφησης μπλοκ με το μέγεθος μπλοκ του να είναι 128 bit. Μετατρέπει αυτά τα μεμονωμένα του μπλοκ χρησιμοποιώντας κλειδιά των 128, 192 και 256 bit. Αφού κρυπτογραφήσει ξεχωριστά αυτά τα μπλοκ, τα ενώνει μεταξύ τους για να σχηματίσει το νέο κρυπτογραφημένο κείμενο.

Βασίζεται σε ένα δίκτυο υποκατάστασης-παρεμβολής, γνωστό και ως δίκτυο SP. Αποτελείται από μια σειρά συνδεδεμένων λειτουργιών, συμπεριλαμβανομένων της αντικατάστασης εισόδων με συγκεκριμένες εξόδους και άλλων που περιλαμβάνουν την ανακατάταξη bit. Τα κύρια χαρακτηριστικά του αλγόριθμου αυτού είναι το δίκτυο υποκατάστασης- παρεμβολής, η επέκταση κλειδιού, η λειτουργία με τύπο δεδομένων byte, καθώς και το μέγεθος των κλειδιών του.

Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του AES, πρέπει πρώτα να αναλυθεί πώς μεταδίδονται οι πληροφορίες μεταξύ πολλαπλών βημάτων.



Εικόνα 8 : Βήματα που ακολουθούνται στην κρυπτογράφηση του αλγόριθμου AES

Αν γίνει υπόθεση ότι στόχος είναι η κρυπτογράφηση των δεδομένων ενός πίνακα, ξεκινώντας από την προσθήκη γύρου κλειδιού, τα δεδομένα του μπλοκ που είναι αποθηκευμένα στον πίνακα καταστάσεων τροποποιούνται μέσω μιας συνάρτησης XOR με το πρώτο κλειδί που δημιουργήθηκε (K0). Περνάν έτσι στον προκύπτοντα πίνακα καταστάσεων ως είσοδος στο επόμενο βήμα.

Στο βήμα sub - bytes μετατρέπεται κάθε byte του πίνακα κατάστασης σε δεκαεξαδικό, χωρισμένο σε δύο ίσα μέρη. Αυτά τα μέρη είναι οι γραμμές και οι στήλες, που αντιστοιχίζονται με ένα πλαίσιο υποκατάστασης (S-Box) για τη δημιουργία νέων τιμών για τον τελικό πίνακα καταστάσεων που θα προχωρήσει στο επόμενο βήμα.

Κατά την μετατόπιση σειρών ανταλλάσσονται τα στοιχεία της γραμμής μεταξύ τους. Παραλείπει την πρώτη σειρά. Μετατοπίζει τα στοιχεία της δεύτερης σειράς κατά μία θέση προς τα αριστερά. Μετατοπίζει επίσης τα στοιχεία της τρίτης σειράς κατά δύο διαδοχικές θέσεις προς τα αριστερά και μετατοπίζει την τελευταία σειρά κατά τρεις θέσεις προς τα αριστερά.

Στο ανακάτεμα στηλών πολλαπλασιάζετε ένας σταθερός πίνακας με κάθε στήλη του πίνακα καταστάσεων για να προκύψει μια νέα στήλη για τον επόμενο πίνακα καταστάσεων. Μόλις όλες οι στήλες πολλαπλασιαστούν με τον ίδιο σταθερό πίνακα, λαμβάνετε ένας πίνακα καταστάσεων για το επόμενο βήμα.

Στο τελευταίο βήμα το αντίστοιχο κλειδί για τον κάθε γύρο γίνεται ξανά με XOR με τον πίνακα καταστάσεων που λαμβάνεται στο προηγούμενο βήμα. Εάν αυτός είναι ο τελευταίος γύρος, η προκύπτουσα σειρά κατάστασης γίνεται το κρυπτογράφημα για το συγκεκριμένο μπλοκ-διαφορετικά, περνάει ως η νέα είσοδος της σειράς κατάστασης για τον επόμενο γύρο.[25]

### Ασφάλειας RSA

Ο αλγόριθμος RSA είναι ένας αλγόριθμος ασύμμετρης κρυπτογραφίας, αυτό σημαίνει ότι χρησιμοποιεί ένα δημόσιο κλειδί και ένα ιδιωτικό κλειδί, δηλαδή δύο διαφορετικά κλειδιά συνδεδεμένα μεταξύ τους με μαθηματικούς τύπους. Για την δημιουργία των κλειδιών ακολουθείτε η παρακάτω διαδικασία:

- Επιλέγονται δύο μονοί αριθμοί  $x$  και  $y$ . Οι μονοί αυτοί αριθμοί πρέπει να είναι αρκετά μεγάλοι έτσι ώστε να μην μπορεί κάποιος να τους βρει εύκολα.
- Υπολογίζεται το  $n = x \cdot y$ .
- Υπολογίζεται η συνάρτηση  $\phi(n) = (x-1)(y-1)$ .
- Επιλέγεται ένας ακέραιος αριθμός  $e$  για τον οποίο πρέπει να ισχύει  $1 < e < \phi(n)$ . Ο συνδυασμός των  $(n, e)$  αποτελούν το δημόσιο κλειδί.
- Υπολογίζεται το  $d$  έτσι ώστε  $e \cdot d = 1 \pmod{\phi(n)}$ . Το  $d$  μπορεί να βρεθεί με την χρήση του ευκλείδειου αλγόριθμου. Το ζευγάρι  $(n, d)$  αποτελεί το ιδιωτικό κλειδί.

Η κρυπτογράφηση γίνεται αφού δοθεί ένα απλό κείμενο που συμβολίζεται με  $P$ , και παρουσιάζεται ως αριθμός το κρυπτογραφημένο κείμενο υπολογίζεται από τον τύπο:

$$C = P^e \text{ mod } n.$$

Ενώ στην αποκρυπτογράφηση χρησιμοποιείται το ιδιωτικό κλειδί που αναφέρθηκε παραπάνω, και του αποκρυπτογραφημένο κείμενο μπορεί να βρεθεί με τον τύπο: [26]

$$P = C^d \text{ mod } n.$$

### Twofish

Ο Twofish είναι ένας αλγόριθμος κρυπτογράφησης μπλοκ 128 bit που δέχεται κλειδιά μεταβλητού μήκους. Η κρυπτογράφηση του αποτελείται από ένα δίκτυο 16 γύρων με μια διμερή συνάρτηση που αποτελείται από τέσσερα εξαρτώμενα από το κλειδί 8 επί 8-bit S-boxes και έναν σταθερού διαχωρισμού πίνακα μέγιστης απόστασης τέσσερα επί τέσσερα. Στον αλγόριθμο twofish, τα δεδομένα εισόδου και εξόδου είναι XOR-ed με οκτώ υποκλειδιά που δέχονται τιμές από K0 έως K7. Αυτές οι πράξεις X-OR ονομάζονται λεύκανση εισόδου και εξόδου. Η συνάρτηση αποτελείται από πέντε είδη συστατικών πράξεων, τα κλειδιά που είναι εξαρτώμενα από τα S-boxes, τους πίνακες διαχωρίσιμης μέγιστης απόστασης (MDS) και ψευδό - μετασχηματιστές Hadamard (PHT) και δύο συναρτήσεις H και F.

Υπάρχουν τέσσερα είδη κλειδιών εξαρτώμενων από το S-boxes που συνδυάζονται με τη μορφή πίνακα MDS και της συνάρτησης g. Υπάρχουν συνολικά 16 γύροι στον αλγόριθμο twofish.

Τα S-boxes είναι μια λειτουργία αντικατάστασης με βάση τον πίνακα που χρησιμοποιείται σε πολλούς αλγορίθμους. Μπορεί να αλλάξει τόσο στο μέγεθος εισόδου όσο και στο μέγεθος εξόδου και μπορεί να γίνει τυχαία ή αλγοριθμικά. Υπάρχουν τέσσερα είδη s-boxes που χρησιμοποιούνται στον αλγόριθμο twofish. Τα τέσσερα διαφορετικά s-boxes μαζί με τον πίνακα MDS σχηματίζουν μια συνάρτηση h. Αυτή η h-συνάρτηση εμφανίζεται συνολικά δύο φορές στον αλγόριθμο. Στο Twofish, κάθε S-box αποτελείται από τρεις σταθερές μεταθέσεις 8 επί 8 bit που επιλέγονται από ένα σύνολο που περιλαμβάνει μόλις δύο πιθανές μεταθέσεις, q0 και q1. Η λειτουργία XOR εκτελείται με δύο υποκλειδιά.

Ο πίνακας MDS χρησιμοποιείται ως ο κύριος μηχανισμός διάχυσης των τεσσάρων bytes που βγαίνουν ως έξοδο από τα τέσσερα S-boxes. Οι πίνακες MDS είναι χρήσιμο δομικό στοιχείο για κρυπτογραφήσεις επειδή εγγυώνται σε ένα ορισμένο βαθμό διάχυσης. Εάν αλλάξει μόλις ένα από τα στοιχεία εισόδου, όλα τα στοιχεία εξόδου πρέπει να αλλάξουν και αυτά. Αντιθέτως αν αλλάξουν δύο στοιχεία εισόδου, πρέπει να αλλάξουν όλα τα στοιχεία εξόδου εκτός από ένα.

Οι ψευδό - μετασχηματιστές Hadamard (PHT) είναι μια απλή λειτουργία ανάμιξης, που κάνει το λογισμικό πολύ πιο αποτελεσματικό, καθώς βελτιώνει την ανταπόκριση του αλγόριθμου

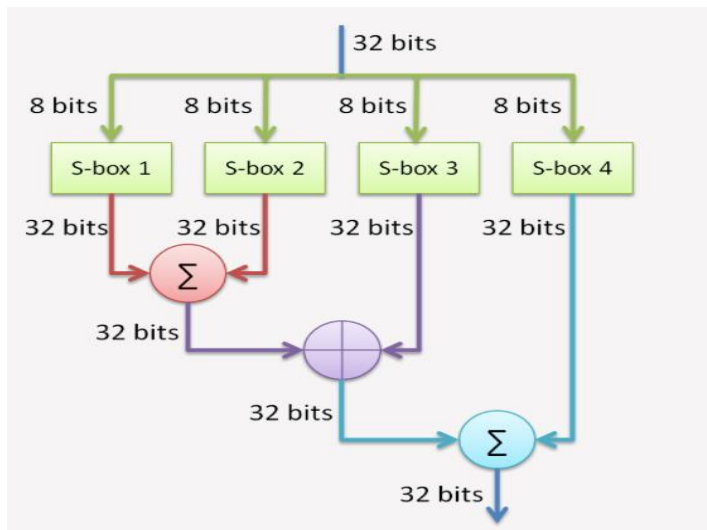
στην κρυπτογράφηση και στην αποκρυπτογράφηση. Ο Twofish χρησιμοποιεί ένα 32-bit PHT για να ανακατεύει την έξοδο από τις δύο παράλληλες 32-bit λειτουργίες του.[28]

### Blowfish

Η συμμετρική κρυπτογράφηση, όπως συμπεραίνεται και από τα παραπάνω, σημαίνει ότι το κλειδί που χρησιμοποιείται για την κρυπτογράφηση και την αποκρυπτογράφηση των δεδομένων είναι το ίδιο. Στον αλγόριθμο Blowfish, το κλειδί κρυπτογράφησης και το κλειδί αποκρυπτογράφησης μετατρέπουν τα εμπιστευτικά δεδομένα σε κρυπτογραφημένο κείμενο. Ο Blowfish είναι ο νονός του αλγορίθμου κρυπτογράφησης Twofish και του AES. Ο Blowfish χρησιμοποιεί επίσης ένα μέγεθος μπλοκ 64bit που προσφέρει τεράστια πολυπλοκότητα, καθιστώντας ταυτόχρονα το κλειδί απολύτως ασφαλές.

Ο αλγόριθμος Blowfish χρησιμοποιεί μέγεθος μπλοκ 64 bit και το μήκος του παραγόμενου κλειδιού κυμαίνεται μεταξύ 32 bit και 448 bit. Ο αλγόριθμος αποτελείται από δύο κύρια μέρη. Το ένα από αυτά είναι το τμήμα υπεύθυνο για την επέκταση του κλειδιού και το δεύτερο για την κρυπτογράφηση των δεδομένων. Μόλις γίνει η λήψη του αιτήματος, η επέκταση κλειδιού μετατρέπει τα 448 bit ενός κλειδιού σε υποκλειδιά, με αποτέλεσμα ο πίνακας να γίνει 4168 byte μεγάλος.

Για την κρυπτογράφηση δεδομένων, ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί ένα κρυπτογράφημα Feistel 16 γύρων μαζί με μεγάλα S-boxes που εξαρτώνται από το κλειδί. Τα S-boxes αποτελούν κύρια στοιχεία των αλγορίθμων συμμετρικού κλειδιού, τα οποία λειτουργούν με τη μέθοδο της υποκατάστασης. Κάθε γύρος υποκατάστασης στα S-boxes έχει μετατροπή που εξαρτάται από το κλειδί. Η δομή του αλγορίθμου είναι παρόμοια με τον CAST-128 που χρησιμοποιεί σταθερά S-boxes. [27]



Εικόνα 9: Γραφική αναπαράσταση της χρήσης των S-Boxes [29]

## 2.1.2. Τεχνητή νοημοσύνη

Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) αναφέρεται στην ανάπτυξη υπολογιστικών συστημάτων που μπορούν να εκτελούν εργασίες που συνήθως απαιτούν ανθρώπινη νοημοσύνη, όπως η οπτική αντίληψη, η αναγνώριση ομιλίας, η λήψη αποφάσεων και η επεξεργασία φυσικής γλώσσας. Η τεχνητή νοημοσύνη βασίζεται στην ιδέα ότι οι μηχανές μπορούν να μαθαίνουν από την εμπειρία, να προσαρμόζονται σε νέες καταστάσεις και να εκτελούν εργασίες πιο αποτελεσματικά από τους ανθρώπους.

Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χωριστεί σε δυο μεγαλύτερες κατηγορίες αυτήν της συμβολικής τεχνητής νοημοσύνης και αυτή της μηχανικής μάθησης.

Τα συστήματα συμβολικής τεχνητής νοημοσύνης λειτουργούν με την δημιουργία συγκεκριμένων κανόνων από έναν άνθρωπο εμπειρογνώμονα, τους οποίους ο υπολογιστής μπορεί να ακολουθήσει, βήμα προς βήμα, προκειμένου να καθορίσει τον τρόπο αντίδρασης σε ένα δεδομένο σενάριο. Οι κανόνες παρουσιάζονται συχνά σε μια δομή "if-then-else". Η συμβολική τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να οριστεί ως "άνθρωπος στο βρόχο", επειδή η διαδικασία λήψης αποφάσεων συνδέεται στενά με τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι κάνουν επιλογές. Η νοημοσύνη του συστήματος προέρχεται ολοκληρωτικά από την κωδικοποίηση της ανθρώπινης γνώσης. Επιπλέον, οι άνθρωποι μπορούν να κατανοήσουν τον τρόπο με τον οποίο αυτά τα συστήματα καταλήγουν σε συγκεκριμένες αποφάσεις, επιτρέποντάς τους να εντοπίζουν λάθη και να εντοπίζουν ευκαιρίες βελτίωσης του προγράμματος αλλά και να ενημερώνουν τον κώδικα αναλόγως.

Παρ' όλα αυτά, τα συστήματα αυτά έχουν περιορισμούς. Προκειμένου να δημιουργηθεί ένα χρήσιμο και αξιόπιστο σύστημα που να λειτουργεί για πολύπλοκα και δυναμικά ζητήματα του πραγματικού κόσμου, θα απαιτούνταν τόσο πολλοί κανόνες και εξαιρέσεις που το σύστημα θα γινόταν πολύ γρήγορα υπερβολικά μεγάλο, με πολλές επαναλήψεις και δύσκολα διαχειρίσιμο. Αυτά τα συστήματα είναι πιο αποτελεσματικά σε περιορισμένα περιβάλλοντα που δεν αλλάζουν πολύ με την πάροδο του χρόνου, όπου οι κανόνες είναι αυστηροί και οι μεταβλητές είναι μονοσήμαντες. Για παράδειγμα, είναι ωφέλιμα για το έλεγχο ενός ατμοποιημένου συστήματος μίας μηχανής όπου τα βήματα είναι ξεκάθαρα και εύκολα διαχειρίσιμα.

Από την άλλη η μηχανική μάθηση (ML) αναφέρεται σε αλγόριθμους που βελτιώνουν την απόδοσή τους αυτόνομα, χωρίς άνθρωποι εμπειρογνώμονες να κωδικοποιούν άμεσα τις γνώσεις τους. Οι αλγόριθμοι ML συνήθως βελτιώνονται με την εκπαίδευσή τους σε δεδομένα, και για αυτό το είδος τεχνητής νοημοσύνης χαρακτηρίζεται "data-driven" AI. Η σημαντική πρόσφατη πρόοδος στον τομέα αυτό δεν οφείλεται τόσο σε σημαντικές εξελίξεις στις ίδιες τις τεχνικές, αλλά μάλλον στην τεράστια αύξηση του όγκου των διαθέσιμων δεδομένων. Υπό αυτή την έννοια, η τεχνητή νοημοσύνη οδηγείται μόνη της από τα δεδομένα. Συνήθως, οι αλγόριθμοι ML ανακαλύπτουν τις δικές τους μεθόδους ανίχνευσης προτύπων και εφαρμόζουν αυτά που μαθαίνουν για να εξάγουν συμπεράσματα σχετικά με τα δεδομένα. Οι διάφορες προσεγγίσεις ML είναι κατάλληλες για διαφορετικές εργασίες και καταστάσεις και έχουν διαφορετικές επιπτώσεις. [30]

Ο τομέας μηχανικής μάθησης επικεντρώνεται στην πτυχή της μάθησης της τεχνητής νοημοσύνης αναπτύσσοντας αλγόριθμους που αναπαριστούν με ακρίβεια ένα σύνολο

δεδομένων. Σε αντίθεση με τον κλασικό προγραμματισμό, όπου ένας αλγόριθμος μπορεί να κωδικοποιηθεί ρητά χρησιμοποιώντας γνωστά χαρακτηριστικά, το ML χρησιμοποιεί υποσύνολα δεδομένων για τη δημιουργία ενός αλγορίθμου που μπορεί να χρησιμοποιεί νέους ή διαφορετικούς συνδυασμούς χαρακτηριστικών και βαρών που δεν μπορούν να προκύψουν από τις πρώτες αρχές. Στην ML, υπάρχουν τέσσερις συνήθως χρησιμοποιούμενες μέθοδοι μάθησης, η καθεμία από τις οποίες είναι κατάλληλη για την επίλυση διαφορετικών εργασιών: μάθηση με επίβλεψη, μάθηση χωρίς επίβλεψη, μάθηση με ημι-επίβλεψη και ενισχυμένη μάθηση.

Τα θεμελιώδη βήματα της μηχανικής μάθησης με επίβλεψη, περιλαμβάνουν τη λήψη ενός συνόλου δεδομένων και το διαχωρισμό του σε διακριτά σύνολα δεδομένων εκπαίδευσης, επικύρωσης και δοκιμής. Στη συνέχεια, τα σύνολα δεδομένων εκπαίδευσης και επικύρωσης χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ενός μοντέλου που προσδιορίζει τη σχέση μεταξύ των χαρακτηριστικών και του στόχου. Τέλος, το μοντέλο αξιολογείται χρησιμοποιώντας το σύνολο δεδομένων δοκιμής για να προσδιοριστεί η ικανότητά του. Κατά τη διάρκεια κάθε επανάληψης, η απόδοση του αλγορίθμου στα δεδομένα εκπαίδευσης συγκρίνεται με την απόδοσή του στο σύνολο δεδομένων επικύρωσης. Αυτό επιτρέπει στον αλγόριθμο να τελειοποιηθεί από το σύνολο επικύρωσης. Ωστόσο, οι επιδόσεις του αλγορίθμου ενδέχεται να μην γενικευτούν εάν το σύνολο επικύρωσης διαφέρει από το σύνολο δοκιμής. Οι πιο συνηθισμένες εργασίες μάθησης με επίβλεψη είναι η παλινδρόμηση που περιλαμβάνει την πρόβλεψη αριθμητικών δεδομένων και η ταξινόμηση.

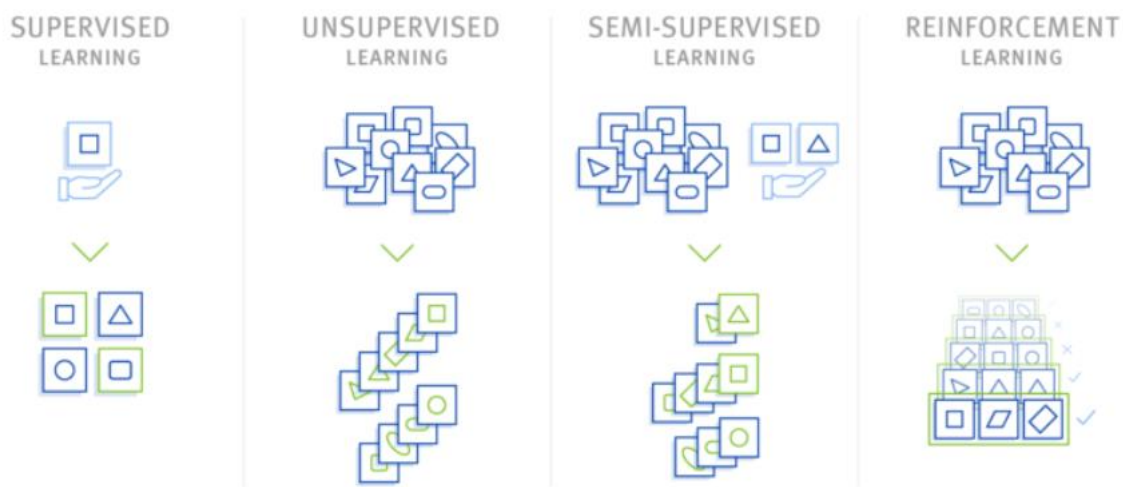
Η μάθηση χωρίς επίβλεψη, σε αντίθεση με την επιβλεπόμενη μάθηση, δεν βασίζεται σε έναν προκαθορισμένο στόχο για να ενημερώσει τη διαδικασία ανίχνευσης προτύπων. Αντ' αυτού, στοχεύει στον εντοπισμό μοτίβων σε ένα σύνολο δεδομένων και στην ταξινόμηση μεμονωμένων περιπτώσεων σε διαφορετικές κατηγορίες. Αυτή η προσέγγιση χαρακτηρίζεται ως μη επιβλεπόμενη επειδή ο αλγόριθμος δεν καθοδηγείται από έναν στόχο και αφήνεται να προσδιορίσει τα μοτίβα από μόνος του. Οι συνήθεις εργασίες που σχετίζονται με τη μάθηση χωρίς επίβλεψη περιλαμβάνουν την ομαδοποίηση, τη συσχέτιση και την ανίχνευση ανωμαλιών. Η ομαδοποίηση περιλαμβάνει την ομαδοποίηση περιπτώσεων σε ένα σύνολο δεδομένων σε ξεχωριστές ομάδες με βάση συνδυασμούς των διάφορων χαρακτηριστικών τους.

Η μάθηση με ημιεπίβλεψη είναι ένας τύπος μηχανικής μάθησης που βρίσκεται μεταξύ της μάθησης με επίβλεψη και της μάθησης χωρίς επίβλεψη. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για σύνολα δεδομένων που έχουν τόσο επισημειωμένα όσο και μη επισημειωμένα δεδομένα, όπου ορισμένα από τα χαρακτηριστικά έχουν σχετικούς στόχους, ενώ άλλα όχι, αυτή η κατάσταση εμφανίζεται συνήθως όταν η επισήμανση εικόνων είναι χρονοβόρα ή δαπανηρή. Το μοντέλο μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για την ταξινόμηση των υπόλοιπων μη επισημασμένων εικόνων στο σύνολο δεδομένων. Έπειτα ο επισημασμένο αυτό σύνολο δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκπαίδευση ενός μοντέλου εργασίας, το οποίο αναμένεται να έχει καλύτερες επιδόσεις από τα μοντέλα χωρίς επίβλεψη.

Τέλος, η ενισχυμένη μάθηση είναι η τεχνική της εκπαίδευσης ενός αλγορίθμου για μια συγκεκριμένη εργασία, όπου δεν υπάρχει μία μόνο σωστή απάντηση, αλλά είναι επιθυμητό ένα συνολικό αποτέλεσμα. Είναι αναμφισβήτητο η πιο κοντινή προσπάθεια μοντελοποίησης

της ανθρώπινης εμπειρίας μάθησης, επειδή επίσης μαθαίνει από τη δοκιμή και το λάθος και όχι μόνο από τα δεδομένα. Αν και η ενισχυτική μάθηση είναι μια ισχυρή τεχνική, οι εφαρμογές είναι προς το παρόν περιορισμένες.

Η ενισχυμένη μάθηση δίνει τη δυνατότητα σε έναν αλγόριθμο να λειτουργεί ανεξάρτητα, δοκιμάζοντας διάφορες εισόδους του ελεγκτή μέχρι να βρει μια επιτυχημένη προσέγγιση σε μια δεδομένη εργασία. Αυτή η διαδικασία βοηθά τον αλγόριθμο να μάθει ποιες συμπεριφορές είναι βέλτιστες. Με την πάροδο του χρόνου, ο αλγόριθμος μπορεί να μάθει πώς να πλοηγείτε από την αρχή έως το τέλος του παιχνιδιού. Αν και η ενισχυμένη μάθηση έχει πιθανές χρήσεις στην επιστήμη των υπολογιστών και τη μηχανική μάθηση, δεν έχει ακόμη σημαντικό αντίκτυπο στην κλινική ιατρική. [31][32]

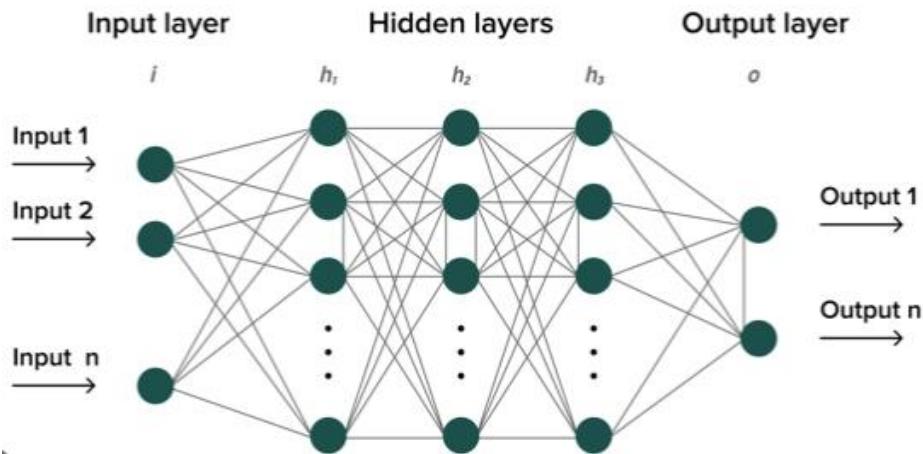


Εικόνα 10: Σχηματική αναπαράσταση με αντίστοιχη σειρά επιβλεπόμενης μάθησης, μη επιβλεπόμενης μάθησης, μάθηση με ημιεπίβλεψη, ενισχυμένη μάθηση.[33]

Εκτός από την μηχανική μάθηση σημαντικό κομμάτι της τεχνητής νοημοσύνης αποτελεί και η λεγόμενη βαθιά μάθηση. Η μηχανική μάθηση και η βαθιά μάθηση είναι και οι δύο υποδομείς της τεχνητής νοημοσύνης, η μηχανική μάθηση όμως αναφέρεται στην ανάπτυξη αλγορίθμων που μπορούν να βελτιώνουν αυτόνομα την απόδοσή τους σε μια συγκεκριμένη εργασία χωρίς να έχουν προγραμματιστεί ρητά για να το κάνουν.

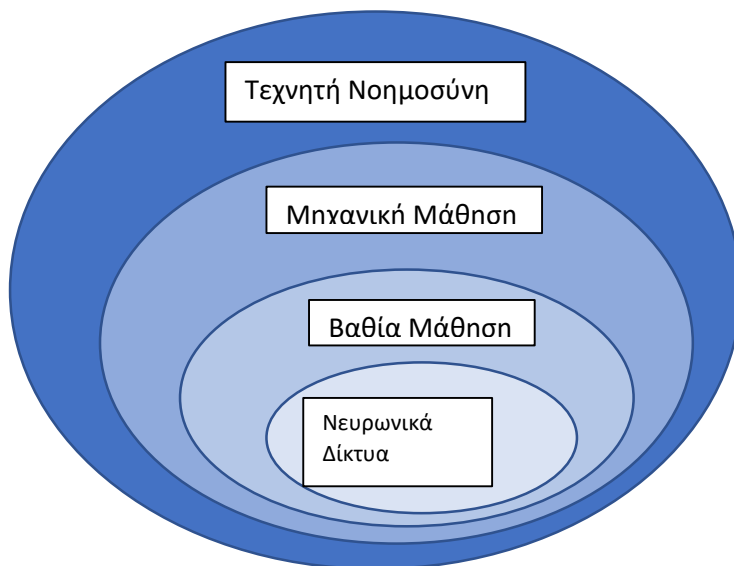
Η βαθιά μάθηση, είναι ένας συγκεκριμένος τύπος μηχανικής μάθησης που περιλαμβάνει τη χρήση νευρωνικών δικτύων, τα οποία είναι ένα σύνολο αλγορίθμων που έχουν ως πρότυπο τη δομή και τη λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου. Τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν να θεωρηθούν ως μια σειρά διασυνδεδεμένων βρόγχων επεξεργασίας που είναι τοποθετημένοι σε επίπεδα. Κάθε βρόγχος δέχεται δεδομένα εισόδου, εκτελεί έναν υπολογισμό και μεταβιβάζει την έξοδο στον επόμενο βρόγχο του στρώματος. Με την επεξεργασία δεδομένων μέσω πολλαπλών στρωμάτων, οι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης είναι σε θέση να μαθαίνουν αυτόματα πολύπλοκες αναπαραστάσεις των δεδομένων εισόδου, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εργασίες όπως για παράδειγμα η αναγνώριση εικόνας και ομιλίας.





Εικόνα 11: Παράδειγμα ροής δεδομένων σε ένα νευρωνικό δίκτυο [34]

Συμπερασματικά όσο αφορά την δομή του συστήματος της τεχνητής νοημοσύνης μπορούμε να την παρουσιάσουμε κάπως έτσι:



Εικόνα 12: Στρωματική αναπαράσταση της τεχνητής νοημοσύνης

Γενικότερα τα έξυπνα εργοστάσια και η Βιομηχανία 4.0 βασίζονται κυρίως στη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης από τις μηχανές, η οποία τους επιτρέπει να εκτελούν περίπλοκες εργασίες, να ελαχιστοποιούν τα έξοδα και να βελτιώνουν την ποιότητα των προϊόντων και των υπηρεσιών.

Η μεταποιητική βιομηχανία επηρεάζεται σημαντικά από τις τεχνολογίες AI, οι οποίες γεφυρώνουν το χάσμα μεταξύ του φυσικού και του εικονικού πεδίου μέσω της ενσωμάτωσης των κυβερνώ-φυσικών συστημάτων. Αυτή η ολοκλήρωση έχει καταστήσει τη μεταποιητική βιομηχανία πιο έξυπνη και πιο επιδέξια στην αντιμετώπιση σύγχρονων προκλήσεων, όπως οι προσαρμοσμένες απαιτήσεις, ο μειωμένος χρόνος διάθεσης στην αγορά και η αυξανόμενη χρήση αισθητήρων στον εξοπλισμό. Η χρήση ευέλικτων ρομπότ, όταν συνδυάζεται με τεχνητή νοημοσύνη, έχει διευκολύνει την κατασκευή μιας ποικιλίας προϊόντων. Επιπλέον, οι τεχνικές AI, όπως αναφέρθηκε, είναι ικανές να αναλύουν

τεράστιους όγκους δεδομένων πραγματικού χρόνου που λαμβάνονται από διάφορους αισθητήρες.

Το πεδίο εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης είναι επίσης εκτεταμένο και στην Ρομποτική Αυτοματοποίηση Διαδικασιών (RPA) καθώς ενσωματώνει σταδιακά αλγορίθμους και τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης σε πολλά πλαίσια, όπως ο προγραμματισμός επιχειρησιακών πόρων, η λογιστική και το ανθρώπινο δυναμικό, για την ταξινόμηση, αναγνώριση και κατηγοριοποίηση πληροφοριών ως μέρος των χαρακτηριστικών αυτοματοποίησης. [35]

### 2.1.3 Ψηφιακά Δίδυμα

Τα ψηφιακά δίδυμα αναφέρονται σε ένα μοντέλο που βασίζεται στον υπολογιστή και μιμείται στενά ένα φυσικό αντικείμενο. Για τη δημιουργία ενός τέτοιου μοντέλου, στο φυσικό αντικείμενο εγκαθίστανται αισθητήρες για τη συλλογή δεδομένων που σχετίζονται με τους κρίσιμους τομείς απόδοσης του αντικειμένου. Τα δεδομένα αυτά αποστέλλονται στη συνέχεια σε ένα σύστημα επεξεργασίας και χρησιμοποιούνται για την ενημέρωση του εικονικού αντιγράφου.

Με τα δεδομένα ενσωματωμένα στο εικονικό μοντέλο, μπορούν να εκτελούνται προσομοιώσεις, να μελετώνται θέματα επιδόσεων και να δημιουργούνται πιθανές βελτιώσεις, με στόχο την παροχή πολύτιμων πληροφοριών που μπορούν να εφαρμοστούν στο αρχικό φυσικό αντικείμενο για τη βελτίωση των επιδόσεών του. [36]

Τα ψηφιακά δίδυμα (DT) είναι ένα αντικείμενο μελέτης που καλύπτει πολλούς επιστημονικούς και διεπιστημονικούς κλάδους, καθένας από τους οποίους έχει μια μοναδική επαγγελματική προοπτική, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ένας ενιαίος ορισμός. Για την απόκτηση μεγαλύτερης εικόνας της φύσης και της αναγκαιότητας των DT, έχουν προσδιοριστεί διάφορα βασικά χαρακτηριστικά που θα μπορούσαν να ορίσουν καλύτερα την τεχνική των ψηφιακών διδύμων. Τα χαρακτηριστικά αυτά περιλαμβάνουν:

- Συνιστώσες: Ένα σύστημα που αποτελείται από φυσικές οντότητες, εικονικά μοντέλα, φυσικές-ψηφιακές συνδέσεις, δεδομένα και υπηρεσίες.
  
- Μοντελοποίηση: Το εικονικό μοντέλο καθοδηγείται από ροές δεδομένων, μοντέλα αρχών ή συνδυασμό και των δύο. Η ολοκληρωμένη μοντελοποίηση περιλαμβάνει όλες τις πτυχές των φυσικών οντοτήτων, από μεμονωμένα εξαρτήματα έως προϊόντα και συστήματα σε ολόκληρη την εγκατάσταση, καθώς το δυναμικό λειτουργικό και τους τρόπους συμπεριφοράς. Συγκεκριμένα οι λειτουργίες αυτές μπορεί να συμπεριλαμβάνουν τον γενικό σχεδιασμό, την αξιολόγησης επιδόσεων μέσω δικτύου, την προληπτική συντήρηση και πολλές άλλες πρόσθετες υπηρεσίες.

- Αλληλεπίδραση: Αμφίδρομες συνδέσεις μεταξύ των φυσικών και εικονικών χώρων, συμπεριλαμβανομένων των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των φυσικών στοιχείων και των αντίστοιχων ψηφιακών αντιγράφων τους, μεταξύ των περιπτώσεων ψηφιακών διδύμων και του γενικού συνόλου, καθώς και μεταξύ της μηχανικής νοημοσύνης και των ανθρώπινων χειριστών/διαχειριστών.
- Συγχρονισμός: Τα ψηφιακά δίδυμα ενημερώνονται συνεχώς σε πραγματικό χρόνο ή εγκαίρως για τη διατήρηση μιας συνεπούς εικονικής αναπαράστασης. Αυτό είναι απαραίτητο για μια σειρά διαδικτυακών εργασιών, όπως ο προγραμματισμός, ο έλεγχος και η βελτιστοποίηση, και απαιτεί επαρκές εύρος ζώνης επικοινωνίας.
- Πλήρης κύκλος ζωής: Μια μηχανή οδηγεί το δυναμικό μοντέλο, καλύπτοντας όλα τα στάδια από τον σχεδιασμό έως τη διάθεση. Έτσι προσδιορίζονται η εξέλιξη και ο συγχρονισμός των ψηφιακών διδύμων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής.

Συνοπτικά, μια πρακτική μπορεί να θεωρηθεί τεχνική ψηφιακών διδύμων εάν ευθυγραμμίζεται με αυτά τα κύρια χαρακτηριστικά. [37] Έτσι η ιδέα των ψηφιακών διδύμων είναι μια εξέλιξη της τεχνολογίας μοντελοποίησης και προσομοίωσης που ξεπερνά τους περιορισμούς των παραδοσιακών μεθόδων προσομοίωσης. Η εξέλιξη αυτή καθίσταται δυνατή με την ενσωμάτωση της τεχνολογίας IoT στη διαδικασία. Τα ψηφιακά μοντέλα που αναπαριστούν ένα εικονικό έξυπνο παραγωγικό σύστημα ταξινομούνται σε τρεις τύπους:

- i. ψηφιακό αντίγραφο,
- ii. ψηφιακή σκιά και
- iii. ψηφιακό δίδυμο.

Ένα ψηφιακό αντίγραφο επικεντρώνεται στην αυτόματη κατασκευαστική προβολή ενός συστήματος, ενώ μια ψηφιακή σκιά δίνει έμφαση στη μαθηματική μοντελοποίηση για την περιγραφή των φυσικών/χημικών χαρακτηριστικών ενός συστήματος. Από την άλλη πλευρά, ένα ψηφιακό δίδυμο είναι μια ολοκληρωμένη προσομοίωση ενός προϊόντος, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Τα ψηφιακά δίδυμα αναγνωρίζονται ως ένας από τους κρίσιμους τεχνολογικούς πυλώνες για την επίτευξη της έξυπνης παραγωγής και της Βιομηχανίας 4.0.

Η διαδικασία σχεδιασμού των έξυπνων παραγωγικών συστημάτων (SMS) περιλαμβάνει τη δημιουργία, τη διαμόρφωση και τη λεπτομερή ρύθμιση των αντίστοιχων ψηφιακών διδύμων, με διαφορετικές χρήσεις σε τρία στάδια. Στο στάδιο της σύλληψης, χρησιμοποιούνται διεπιστημονικές προσομοιώσεις για τη γρήγορη επαλήθευση του εννοιολογικού σχήματος. Στο στάδιο της διαμόρφωσης, οι βασικές τεχνικές παράμετροι σχεδιασμού καθορίζονται από προσομοιώσεις και πρέπει να διατηρηθεί η απαραίτητη ημιφυσική θέση κατά τη λειτουργία του συστήματος. Στο στάδιο της τελειοποίησης, τα ψηφιακά δίδυμα βοηθούν στην κατασκευή του πρωτότυπου SMS και στον σχεδιασμό του σχήματος δοκιμών του συστήματος, μειώνοντας τις δοκιμές και τα σφάλματα για τον

εντοπισμό των σημείων που πρέπει να αναπροσαρμοστούν. Η προσέγγιση των ψηφιακών διδύμων μπορεί να επιτύχει την επικύρωση του SMS με λιγότερους χρόνους δοκιμών και να βελτιώσει την αποδοτικότητα του σχεδιασμού, επιτυγχάνοντας τη βέλτιστη απόδοση με λιτό τρόπο. Η εξαιρετική δυνατότητα αναδιαμόρφωσης και η ευελιξία του SMS είναι ζωτικής σημασίας για τη λεπτομερή ρύθμιση των αντίστοιχων ψηφιακών διδύμων για την υποστήριξη εναλλακτικών λύσεων σχεδιασμού/προτυποποίησης. [38]

#### 2.1.4. Διαδίκτυο των πραγμάτων

Το διαδίκτυο των πραγμάτων αναφέρεται σε μια πληθώρα πραγμάτων που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο και μπορούν να συνδυάσουν τα υπάρχοντα δεδομένα με εφαρμογές του ΙΟΤ, συνδεδεμένες συσκευές στο δίκτυο, βιομηχανικές μηχανές και πολλά άλλα. Με την ανάπτυξη του διαδικτύου των πραγμάτων διάφοροι αισθητήρες και ενεργοποιητές στον χώρο παραγωγής είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο, επιτυγχάνοντας έτσι την συγκέντρωση δεδομένων για την καλύτερη παρακολούθηση λειτουργίας, την πρόβλεψη της συντήρησης και τον προγραμματισμό της παραγωγής.

Η ερευνά για την αρχιτεκτονική, τις μεθόδους επικοινωνίας και τις μεθόδους δικτύωσης του συστήματος του Διαδικτύου των πραγμάτων καθώς και η αλληλεπίδραση των πληροφοριών των πολύπλοκων σχέσεων μεταξύ συσκευών, έχει γίνει επείγον πρόβλημα για την εφαρμογή του.

Οι υπάρχουσες αρχιτεκτονικές επικοινωνίας ΙοΤ συνήθως βασίζονται στα θεμέλια cloud, το οποίο λειτουργεί ως ενδιάμεσο λογισμικό και συνδέει τις συσκευές ΙοΤ μεταξύ τους. Τα διάφορα τερματικά στο σύστημα ΙοΤ είναι ευρέως κατανεμημένα στο χώρο και απαιτείται να είναι όλα συνδεδεμένα με την πλατφόρμα cloud άμεσα ή έμμεσα μέσω του διαδικτύου. Ωστόσο, όσο μεγαλύτερος αριθμός συσκευών υπάρχει στο σύστημα, τόσο πιο πολύπλοκο μπορεί να γίνει το εργασιακό περιβάλλον. Η χρήση ενσύρματης πρόσβασης δικτύου για συσκευές δεν μπορεί πλέον να εφαρμόζεται σε πολλές περιπτώσεις. Έτσι η τεχνολογία πρόσβασης στο δίκτυο γίνεται σταδιακά μέσω των συστημάτων ΙοΤ. [39]

Συγκεκριμένα όσο αφορά την αρχιτεκτονική του ΙοΤ τυπικά αποτελείται από τρία βασικά επίπεδα:

- το πρώτο την συσκευή,
- δεύτερο την σύνδεση
- τρίτο την εφαρμογή.

Οι τεχνολογίες στο πρώτο επίπεδο περιλαμβάνουν συνήθως συσκευές με βασικές εφαρμογές που χρησιμοποιούν αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων (RFID), κοντινή επικοινωνία πεδίου (NFC), ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN) και ενσωματωμένη νοημοσύνη. Το δεύτερο επίπεδο, περιλαμβάνει πύλες και το δίκτυο "core/backbone". Η. Το δίκτυο ΙοΤ

Core/Backbone

είναι

μια σύνδεση IP που μπορεί να υποστηριχθεί από διάφορες δομές τηλεπικοινωνίας όπως Zigbee, WiFi, WiMAX και δίκτυα κινητής τηλεφωνίας(2G, 3G, 4G). Το δεύτερο αυτό επίπεδο της πύλης και τρίτο επίπεδο εφαρμογής μπορεί να συνδέονται απρόσκοπτα μέσω των παραπάνω διαφόρων δικτύων. Επιπλέον, το επίπεδο της εφαρμογής παρέχει πλατφόρμες υπολογιστικού νέφους (Cloud) που επιτρέπουν την ανίχνευση δεδομένων, τα οποία έπειτα θα αποθηκευτούν και θα χρησιμοποιηθούν έξυπνα για έξυπνη παρακολούθηση και ενεργοποίηση με έξυπνες συσκευές.[40]

Η εφαρμογή του IoT περιλαμβάνει τέσσερα βασικά στοιχεία, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Τα στοιχεία αυτά αποτελούνται από τα πράγματα, τις πύλες, την υποδομή δικτύου (NI) και την υποδομή υπολογιστικού νέφους (CI) . Τα πράγματα είναι οι πρωταρχικές περιοχές στις οποίες ανιχνεύονται πληροφορίες με τη χρήση αισθητήρων ή ενεργοποιητών. Τα στοιχεία πυλών χρησιμοποιούνται για τη διευκόλυνση της συνδεσιμότητας και λειτουργεί ως μεσολαβητής μεταξύ των πραγμάτων και της υποδομής δικτύου ή νέφους. Το συστατικό Network Infrastructure (NI) διασφαλίζει τον κατάλληλο έλεγχο των πληροφοριών και επιτρέπει την ασφαλή και απρόσκοπτη ροή δεδομένων. Τέλος, η συνιστώσα Υποδομή Νέφους (CI) προσφέρει δυνατότητες αποθήκευσης και υπολογισμού για τις πληροφορίες που συλλέγονται.

<i>Δομικά Στοιχεία IoT</i>	<i>Συσκευές IoT</i>	<i>Χαρακτηριστικά</i>
Πράγματα	Αισθητήρες , Ενεργοποιητές	Πραγματεύεται την επικοινωνία και τη συλλογή πληροφοριών από τα αντικείμενα των εστιασμένων περιοχών χωρίς καμία ανθρώπινη αλληλεπίδραση.
Πύλες		Έχει τον ρόλο του ενδιάμεσου μπλοκ και επιτρέπει την ισχυρή συνδεσιμότητα μεταξύ των πραγμάτων και της υποδομής cloud.  Δίνει την ικανότητα ασφάλειας και διαχειρισιμότητας κατά τη ροή δεδομένων.
Υποδομές Δικτύου	Ρούτερ, Συσσωρευτές, Πύλες, Επαναληπτικές Δικτύου	Επιτρέπει τον έλεγχο και ασφάλεια της ροής δεδομένων κατά την διαδρομή από τα πράγματα στην υποδομή του cloud.
Υποδομές Cloud	Εικονικοποιημένοι Διακομιστές, Μονάδες Συλλογής Δεδομένων	Επιτρέπει τις αναλυτικές, λογικές και προηγμένες υπολογιστικές ικανότητες.

Πίνακας 1: Δομικά στοιχεία, συσκευές και χαρακτηριστικά του IoT

Η αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του IoT αρχίζει με την πρώτη σειρά του πίνακα που αναφέρεται στους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές που ανιχνεύουν λεπτομερείς πληροφορίες βάσει των απαιτήσεων του χρήστη, συχνά περιορισμένες από μια καθορισμένη χρονική διάρκεια. Αυτές οι πληροφορίες που ανιχνεύονται αποθηκεύονται στη συνέχεια στο συστατικό Raw Information and Processed Data Storage (RI-PD-S), επιτρέποντας την αλληλεπίδραση μεταξύ των πραγμάτων αυτών και των RI-PD-S. Οι πληροφορίες αποθηκεύονται σε διάφορες μορφές, όπως δεδομένα, κείμενο, βίντεο και εικόνες, μεταξύ άλλων. Η τρίτη συνιστώσα του IoT είναι οι μηχανές ανάλυσης και υπολογισμού (ACE), όπου οι αποθηκευμένες πληροφορίες και αναλύονται λογικά με τη χρήση πολλαπλών μοντέλων για τη λήψη κατάλληλων αποφάσεων, επιτρέποντας την αλληλεπίδραση μεταξύ RI-PD-S και ACE. Αυτή η λογική ανάλυση διεξάγεται επαναληπτικά έως ότου επιτευχθούν τα καλύτερα αποτελέσματα που απαιτούνται από τον χρήστη. Η τρίτη συνιστώσα επιτρέπει τη διαδραστική μάθηση ανθρώπου-μηχανής, καθώς και την ανάλυση

μέσω cloud και χρήστη. Με βάση την ανατροφοδότηση και τις εντολές ελέγχου ή τα αιτήματα από τη διαδραστική μάθηση ανθρώπου-μηχανής, το σύνολο των αισθητήρων και των ενεργοποιητών μπορεί να λάβει οδηγίες, επιτρέποντας την αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών και των ACE. [41]

Το Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Industrial Internet of Things - IIoT) είναι μια επέκταση του IoT που εφαρμόζεται ειδικά σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, όπως εργοστάσια παραγωγής, διυλιστήρια πετρελαίου και φυσικού αερίου και άλλες επιχειρήσεις μεγάλης κλίμακας. Το IIoT έχει εφαρμοστεί σε διάφορους τομείς, όπως η περιβαλλοντική παρακολούθηση, η γεωργία, οι κατασκευαστικές βιομηχανίες, τα έξυπνα σπίτια/κτίρια, η διαχείριση καταστροφικών συστημάτων, τα συστήματα με χρήση ηλιακής ενέργειας, τα έξυπνα δίκτυα, η ρομποτική τεχνολογία, η υγειονομική περίθαλψη, οι αυτοκινητοβιομηχανίες, τα συστήματα αντιμετώπισης εκτάκτων αναγκών και τα συστήματα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του IIoT είναι η ικανότητά του να αυτοματοποιεί τον εξοπλισμό και τις συσκευές. Με τη βοήθεια των τεχνικών του IoT, έχουν αναπτυχθεί ετικέτες RFID και ασύρματα μοτέρ για την παρακολούθηση του εξοπλισμού στις τοποθεσίες. Αυτές οι τεχνολογίες έχουν επιτρέψει στις βιομηχανίες να λειτουργούν πιο αποδοτικά και αποτελεσματικά, βελτιώνοντας τα αποτελέσματά τους και μειώνοντας ως ένα βαθμό τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις.

Η εφαρμογή του IIoT σε διάφορους τομείς έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και καινοτόμων λύσεων. Για παράδειγμα, στη γεωργία, οι αισθητήρες IoT μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της υγρασίας του εδάφους, της θερμοκρασίας και άλλων περιβαλλοντικών παραγόντων για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των καλλιεργειών και την ελαχιστοποίηση της χρήσης νερού. Στην υγειονομική περίθαλψη, οι φορητές συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των ζωτικών σημείων ενός ασθενούς από απόσταση, παρέχοντας συνεχή παρακολούθηση και έγκαιρη ανίχνευση πιθανών προβλημάτων υγείας.

Ωστόσο, υπάρχουν επίσης προκλήσεις κατά την εφαρμογή των συστημάτων IoT και IIoT. Μία από τις βασικές προκλήσεις είναι η ανάγκη για τυποποίηση και διαλειτουργικότητα μεταξύ των συσκευών και των συστημάτων. Διαφορετικές συσκευές και πλατφόρμες μπορεί να έχουν διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας, γεγονός που καθιστά δύσκολη την επικοινωνία μεταξύ τους. Υπάρχει επίσης ανάγκη για ισχυρά μέτρα κυβερνοασφάλειας για την προστασία ευαίσθητων δεδομένων και την αποτροπή προσπαθειών παραβίασης.[42]

#### 2.1.5. Διαχείριση και Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων

Τις τελευταίες δεκαετίες, τα συστήματα βάσεων δεδομένων έχουν υποστεί σημαντικές αλλαγές, λόγω της εξέλιξης του υλισμικού, της διαθεσιμότητας τεράστιων ποσοτήτων

δεδομένων και των αναδυόμενων εφαρμογών. Αυτό έχει οδηγήσει σε ένα κατακερματισμένο τοπίο συστημάτων διαχείρισης δεδομένων που βασίζονται σε διαφορετικούς τομείς εφαρμογών, όπως τα σχεσιακά δεδομένα, τα δεδομένα που βασίζονται σε γραφήματα και τα δεδομένα ροής.

Στις επιχειρησιακές λειτουργίες, η ταχύτητα αποτελεί κρίσιμο παράγοντα επιτυχίας και διερευνάται κάθε οδός για τη βελτίωση της απόδοσης, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης της εξάρτησης από τους σκληρούς δίσκους, της προσθήκης περισσότερης μνήμης για να διατηρούνται περισσότερα δεδομένα στη μνήμη, ακόμη και της υλοποίησης ενός συστήματος εντός μνήμης όπου όλα τα δεδομένα μπορούν να αποθηκευτούν στη μνήμη. Τα συστήματα βάσεων δεδομένων στη μνήμη μελετώνται από τη δεκαετία του 1980, αλλά οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία υλικού έχουν ακυρώσει πολλές προηγούμενες εργασίες και έχουν αναζωπυρώσει το ενδιαφέρον για τη φιλοξενία ολόκληρης της βάσης δεδομένων στη μνήμη, ώστε να παρέχεται ταχύτερη πρόσβαση και ανάλυση σε πραγματικό χρόνο. Ως αποτέλεσμα, οι περισσότεροι εμπορικοί προμηθευτές βάσεων δεδομένων έχουν εισαγάγει την επεξεργασία βάσεων δεδομένων στη μνήμη για την υποστήριξη εφαρμογών μεγάλης κλίμακας εξ ολοκλήρου στη μνήμη. Η αποτελεσματική διαχείριση δεδομένων στη μνήμη είναι απαραίτητη για διάφορες εφαρμογές.

Οι δείκτες διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην υποστήριξη σημειακών ερωτημάτων σε βάσεις δεδομένων στη μνήμη. Παρόλο που η πρόσβαση στα δεδομένα στη μνήμη είναι σημαντικά ταχύτερη από την πρόσβαση στο δίσκο, απαιτείται ένα αποδοτικό ευρετήριο για να αποφευχθεί η σάρωση που απαιτεί πολύ μνήμη. Ωστόσο, τα παραδοσιακά ευρετήρια που έχουν σχεδιαστεί για βάσεις δεδομένων με βάση το δίσκο, όπως το B<sup>+</sup>-tree, δίνουν προτεραιότητα κυρίως στην αποδοτικότητα εισόδου/εξόδου έναντι της χρήσης της μνήμης και της κρυφής μνήμης. Τα ευρετήρια που βασίζονται σε κατακερματισμούς χρησιμοποιούνται συνήθως σε αποθήκες κλειδιών-τιμών, αλλά δεν υποστηρίζουν ερωτήματα εύρους, τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για την ανάλυση δεδομένων.

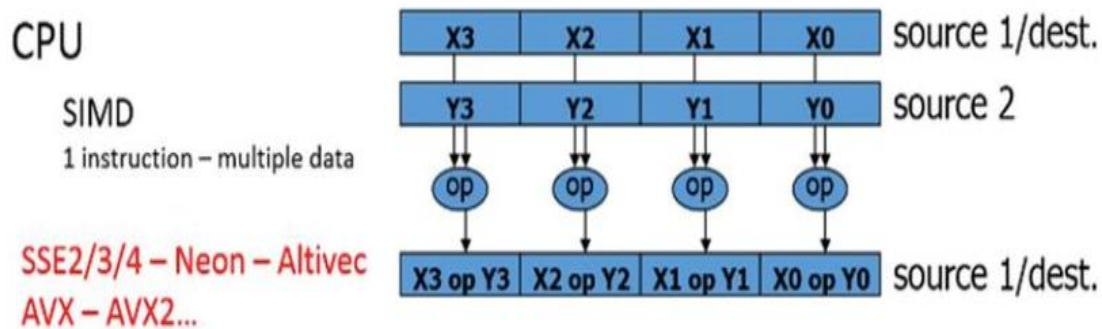
Οι διατάξεις δεδομένων στη μνήμη επηρεάζουν σημαντικά τη χρήση της μνήμης και τη χρήση της κρυφής μνήμης. Για παράδειγμα, η διάταξη σε στήλες των σχεσιακών πινάκων επιτυγχάνει καλή εντοπιότητα στην κρυφή μνήμη και καλύτερη συμπίεση δεδομένων, αλλά δεν είναι βέλτιστη για χρήση σε ερωτήματα που πρέπει να λειτουργούν σε επίπεδο γραμμής. Οι υβριδικές διατάξεις, όπως το PAX και το SAP HANA, χρησιμοποιούνται επίσης για την οργάνωση των δεδομένων κατά στήλες και γραμμές εντός μιας σελίδας ή ενός πολύ -επίπεδου αποθηκευτικού χώρου. Για τον χειρισμό του κατακερματισμού της μνήμης, ορισμένες προτάσεις περιλαμβάνουν τον καταναμητή με βάση τις πλάκες στο Memcached και την οργάνωση δεδομένων με δομή καταγραφής με περιοδικό καθαρισμό στο RAMCloud, καθώς και την καλύτερη αξιοποίηση κάποιων άλλων χαρακτηριστικών του υλισμικού.

Ο παραλληλισμός χωρίζεται σε τρία επίπεδα:

- παραλληλισμός σε επίπεδο δεδομένων (π.χ. παραλληλισμός σε επίπεδο bit, SIMD),
- παραλληλισμός σε κλίμακα αύξησης της κοινής μνήμης
- και παραλληλισμός σε κλίμακα μείωσης της κοινής μνήμης (καταναμημένος υπολογισμός).



Και τα τρία επίπεδα παραλληλισμού μπορούν να αξιοποιηθούν ταυτόχρονα. Οι bit-παράλληλοι αλγόριθμοι αξιοποιούν πλήρως τον ενδοκυκλικό παραλληλισμό των σύγχρονων CPU, ενώ οι εντολές Single Instruction /Multiple Data (SIMD) βελτιώνουν τους υπολογισμούς διανυσματικού τύπου.[43]



Εικόνα 13: Παραλληλισμός σε επίπεδο δεδομένων. [44]

Ο κλιμακούμενος παραλληλισμός εκμεταλλεύεται τις αρχιτεκτονικές πολλαπλών πυρήνων, ενώ αξιοποιείται και σε μεγάλο βαθμό στο cloud. Και οι δύο απαιτούν μια καλή στρατηγική κατάτμησης δεδομένων για την επίτευξη εξισορρόπησης φορτίου και την ελαχιστοποίηση του συντονισμού μεταξύ των κατατμήσεων.

Ο έλεγχος ταυτότητας/διαχείριση συναλλαγών είναι ένα ουσιαστικό ζήτημα απόδοσης στη διαχείριση δεδομένων στη μνήμη με συστήματα πολλών πυρήνων. Οι μηχανισμοί μεγάλης βαρύτητας που βασίζονται στο κλειδώμα σηματοφόρου υποβαθμίζουν σημαντικά τις επιδόσεις, λόγω του σχήματος μπλοκαρίσματος και της επιβάρυνσης που προκαλείται από τον κεντρικό διαχειριστή κλειδώματος και την ανίχνευση αδιεξόδων. Το Lightweight Intent Lock (LIL) διατηρεί ένα σύνολο ελαφρών μετρητών σε έναν παγκόσμιο πίνακα κλειδώματος, ενώ το Very Lightweight Locking (VLL) απλοποιεί τη δομή δεδομένων συμπιέζοντας όλες τις καταστάσεις κλειδώματος μιας εγγραφής σε ένα ζεύγος ακέραιων αριθμών για διαμερισμένες βάσεις δεδομένων. Μια άλλη κατηγορία ελέγχου ταυτότητας βασίζεται στη χρονοσφραγίδα, όπου μια προκαθορισμένη σειρά εγγυάται τη δυνατότητα σειριοποίησης των συναλλαγών, όπως ο αισιόδοξος έλεγχος ταυτότητας (optimistic concurrency control - OCC) και ο έλεγχος ταυτότητας πολλαπλών εκδόσεων (multi-version concurrency control - MVCC).

Η επεξεργασία ερωτημάτων είναι μια άλλη κρίσιμη πτυχή της διαχείρισης δεδομένων στη μνήμη. Οι βάσεις δεδομένων κύριας μνήμης μπορούν να επωφεληθούν από τεχνικές όπως η διανυσματική επεξεργασία ερωτημάτων, η σύνδεση ταξινόμησης-συγχώνευσης στη μνήμη και οι αλγόριθμοι σύνδεσης βάσει κατακερματισμού. Οι σύγχρονες βάσεις δεδομένων στη μνήμη υποστηρίζουν επίσης τεχνικές βελτιστοποίησης ερωτημάτων, όπως η βελτιστοποίηση βάσει κόστους και η εκτίμηση επιλεκτικότητας.

Πολλές από αυτές τις τεχνικές είναι παρόμοιες με μια άλλη προσέγγιση που είναι η χρήση υλικοποιημένων προβολών, οι οποίες είναι προ-υπολογισμένα αποτελέσματα ερωτημάτων που αποθηκεύονται στη μνήμη για γρηγορότερη πρόσβαση. Οι υλικοποιημένες προβολές

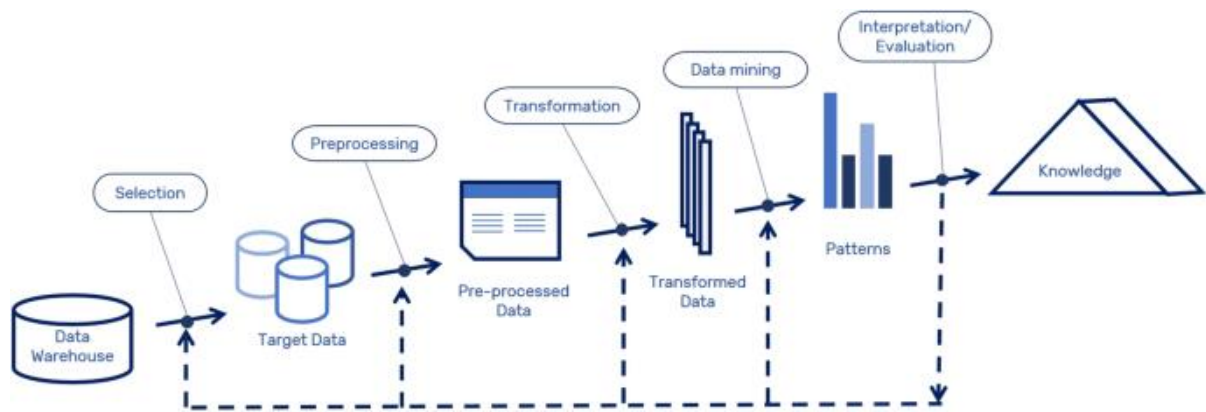
μπορούν να ενημερώνονται σταδιακά όταν αλλάζουν τα υποκείμενα δεδομένα ή να ανανεώνονται περιοδικά. Επιπλέον, οι στρατηγικές κατάκτησης δεδομένων μπορούν επίσης να επηρεάσουν τις επιδόσεις επεξεργασίας ερωτημάτων.[43]

Η ανακάλυψη γνώσης από δεδομένα, γνωστή και ως εξόρυξη δεδομένων, είναι η μία από τις κύριες διαδικασίες εξαγωγής χρήσιμων και προηγούμενων άγνωστων πληροφοριών από μεγάλα σύνολα δεδομένων. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την ανάλυση και τη διερεύνηση των δεδομένων, τον εντοπισμό μοτίβων καθώς και την χρήση αυτών των μοτίβων για την πραγματοποίηση προβλέψεων ή τη λήψη αποφάσεων.

Στη διαδικασία ανακάλυψης γνώσης εμπλέκονται διάφορα στάδια, όπως ο καθαρισμός και η προετοιμασία των δεδομένων, η επιλογή χαρακτηριστικών, η εξόρυξη δεδομένων και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Ο καθαρισμός δεδομένων περιλαμβάνει τον εντοπισμό και την αφαίρεση τυχόν άσχετων ή ασυνεπών δεδομένων, ενώ η επιλογή χαρακτηριστικών περιλαμβάνει την επιλογή των πιο σχετικών σημείων δεδομένων για ανάλυση. Η εξόρυξη δεδομένων περιλαμβάνει την εφαρμογή στατιστικών αλγορίθμων και αλγορίθμων μηχανικής μάθησης στα δεδομένα για τον εντοπισμό μοτίβων και σχέσεων, ενώ η ερμηνεία περιλαμβάνει την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων και την εξαγωγή ουσιαστικών συμπερασμάτων.

Η διαδικασία της ανακάλυψης της γνώσης από δεδομένα (KDD) θα μπορούσε να περιγραφεί σε εννέα βήματα ως εξής:

- Κατανόηση του πεδίου εφαρμογής και καθορισμός του σκοπού της διαδικασίας από τη πλευρά του πελάτη.
- Δημιουργία ενός υποσυνόλου σημείων δεδομένων για την ανακάλυψη γνώσης.
- Χειρισμός ελλειπόντων πεδίων δεδομένων και αφαίρεση θορύβου, συλλογή απαραίτητων πληροφοριών για τη μοντελοποίηση των δεδομένων και υπολογισμός πληροφοριών χρόνου και γνωστών αλλαγών.
- Προσδιορισμός των σχετικών ιδιοτήτων για την παρουσίαση των δεδομένων με βάση την προβλεπόμενη εργασία.
- Αντιστοίχιση των στόχων σε μια συγκεκριμένη μέθοδο εξόρυξης δεδομένων.
- Επιλογή ενός αλγόριθμου και μιας μεθόδου εξόρυξης δεδομένων για την αναζήτηση προτύπων δεδομένων.
- Διερεύνηση μοτίβων σε εκφραστική μορφή.
- Επανάληψη των βημάτων 1-7 όπως απαιτείται, επίσης η οπτικοποίηση των μοτίβων μπορεί να κριθεί απαραίτητη σε αυτό το βήμα.
- Χρήση των πληροφοριών άμεσα, ενσωματώνοντας τις σε άλλο σύστημα ή απλώς καταγράφοντας και κάνοντας αναφορά με αυτές.[45]



Εικόνα 14: Σχηματική αναπαράσταση των βημάτων της διαδικασίας ανάληψης γνώσης [46]

Η μεταποιητική βιομηχανία είναι αυτή που επηρεάζεται περισσότερο από τις τάσεις και τις δυνατότητες των μεγάλων δεδομένων λόγω της φύσης και του όγκου των δεδομένων που παράγονται από αυτήν. Οι σημαντικότερες εφαρμογές των μεγάλων δεδομένων είναι:

- i. Η διαδικασία αλλαγής επιχειρηματικών στρατηγικών ή δημιουργίας νέων προϊόντων ενέχει κινδύνους για τις βιομηχανίες και στο παρελθόν δεν υπήρχε αποτελεσματικό εργαλείο ή πλατφόρμα για την απόκτηση γνώσεων σχετικά με αυτό. Ωστόσο, με τη δυνατότητα των προμηθευτών να μοιράζονται δεδομένα προϊόντων με συνεργάτες και πελάτες, δημιουργείται ένα διαφανές κανάλι επικοινωνίας, που επιτρέπει στους κατασκευαστές να προσαρμόζουν τις διαδικασίες και να αποφεύγουν τους χρόνους αναμονής. Αυτό επιτρέπει και στους κατασκευαστές να έχουν μεγαλύτερη ορατότητα στα επίπεδα ποιότητας και στις μετρήσεις απόδοσης των προμηθευτών, παρέχοντας χρήσιμα δεδομένα για τις διαπραγματεύσεις των συμβάσεων με τους προμηθευτές.
- ii. Η κατασκευή προϊόντων κατά παραγγελία, ή build-to-order (BTO), έχει γίνει ένα κερδοφόρο επιχειρηματικό μοντέλο σε διάφορους κλάδους. Ωστόσο, για την πραγματική ανάπτυξη της ανάπτυξης, είναι απαραίτητη μια καλά καθορισμένη πλατφόρμα δεδομένων για την ανάλυση της συμπεριφοράς των πελατών και των δεδομένων πωλήσεων. Αυτό επιτρέπει στους κατασκευαστές να έχουν πρόσβαση σε όλα τα δεδομένα που σχετίζονται με τις πωλήσεις και να εκτελούν προγνωστικές αναλύσεις για να προβλέπουν τον όγκο των παραγγελιών σε κάθε πιθανή διαμόρφωση και να προσαρμόζουν ανάλογα την αλυσίδα εφοδιασμού τους, τον πρόγραμματισμό παραγωγής καθώς και την γενικότερη οργάνωση της επιχείρησης.
- iii. Η διατήρηση της ποιότητας των προϊόντων αποτελεί ύψιστη προτεραιότητα για τους κατασκευαστές και οι περισσότεροι από αυτούς διαθέτουν ήδη τα απαραίτητα δεδομένα για τη βελτίωση των επιπέδων ποιότητας και τη μείωση του κόστους που σχετίζεται με την ποιότητα. Ωστόσο, λίγοι από αυτούς μπορούν να συνδέσουν τις πηγές δεδομένων τους με τρόπο που να παρέχει αξιοποιήσιμες πληροφορίες. Με τη βοήθεια των μεγάλων δεδομένων, είναι δυνατόν να αποφευχθούν ή να προβλεφθούν διαφορά ζητήματα αυτού του τύπου, εξοικονομώντας ενδεχομένως σημαντικά χρηματικά ποσά.
- iv. Για να βελτιστοποιήσουν την ποιότητα και την ποσότητα της παραγωγής, οι κατασκευαστές χρειάζονται μια καθημερινή ροή δεδομένων από τις γραμμές παραγωγής τους για να βλέπουν τις αποκλίσεις και τις ευκαιρίες σε πραγματικό

χρόνο. Αυτό περιλαμβάνει δεδομένα αισθητήρων από μηχανήματα παραγωγής, οικονομικές πληροφορίες που συνδέονται με λειτουργικά δεδομένα για σκοπούς ανάλυσης και παρακολούθηση δεδομένων εργαζομένων σε πραγματικό χρόνο. Επίσης επιτρέπει και την καλύτερη ιχνηλασιμότητα της παραγωγής σε περίπτωση κάποιου σφάλματος.

- v. Με τη χρήση μεγάλων δεδομένων, καθίσταται δυνατή η γρήγορη σύγκριση των επιδόσεων διαφορετικών εγκαταστάσεων και ο εντοπισμός των λόγων των διαφορών. Αυτό περιλαμβάνει επίσης την ανάλυση ολόκληρων αγορών, τη δημιουργία εναλλακτικών πλάνων και τη χρήση προγνωστικών μοντέλων για την ανάπτυξη της επιχείρησης με βάση τα δεδομένα.
- vi. Η ανάλυση επιχειρησιακών δεδομένων με μεθόδους αναγνώρισης προτύπων επιτρέπει στους κατασκευαστές να προβλέπουν τις επερχόμενες βλάβες και την ανάγκη για συντήρηση πολύ νωρίτερα. Αυτό επιτρέπει την πρόληψη των διακοπών λειτουργίας και των δαπανών που σχετίζονται με τη συντήρηση και παρατείνει τη διάρκεια ζωής των μηχανημάτων αποτρέποντας μη αναστρέψιμες βλάβες.
- vii. Η χρήση των μεγάλων δεδομένων στην εφοδιαστική είναι λιγότερο διαδεδομένη από ό,τι σε άλλους τομείς της μεταποίησης, αλλά έχει σημαντικές δυνατότητες σε τομείς όπως η αποθήκευση και οι μεταφορές. [47]

Αυτές είναι μερικές από τις δυνατότητές που μπορούν να προσφέρουν η ανάλυση και η διαχείριση μεγάλων δεδομένων σε μια βιομηχανία. Με την υιοθέτηση αυτών των προσεγγίσεων οι κατασκευαστές μπορούν να αποκτήσουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, να μειώσουν το κόστος, να βελτιώσουν την αποδοτικότητα και την ποιότητα.

## 2.1.6 Cloud Computing

Το υπολογιστικό cloud αναφέρεται στην παροχή υπολογιστικών υπηρεσιών κατά παραγγελία, συμπεριλαμβανομένων διακομιστών, αποθήκευσης, βάσεων δεδομένων, δικτύωσης, λογισμικού, ανάλυσης και νοημοσύνης, μέσω του Διαδικτύου. Με άλλα λόγια, αντί να αγοράζουν και να συντηρούν φυσικό υλικό και λογισμικό, οι επιχειρήσεις και οι ιδιώτες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε υπολογιστικούς πόρους από έναν απομακρυσμένο πάροχο, να αυξάνουν ή να μειώνουν τη χρήση τους ανάλογα με τις ανάγκες και να πληρώνουν μόνο για ό,τι χρησιμοποιούν. Το υπολογιστικό νέφος επιτρέπει ευελιξία, οικονομική αποδοτικότητα και επεκτασιμότητα.

Πολλοί οργανισμοί και ερευνητές έχουν ορίσει την αρχιτεκτονική για το cloud computing, η οποία μπορεί να χωριστεί στην στοίβα πυρήνα και στη διαχείριση.

Η βασική στοίβα περιλαμβάνει τρία επίπεδα, δηλαδή το επίπεδο πόρων, το επίπεδο πλατφόρμας και το επίπεδο εφαρμογών. Το επίπεδο των πόρων είναι το στρώμα υποδομής, το οποίο περιλαμβάνει φυσικούς και εικονικοποιημένους υπολογιστικούς, αποθηκευτικούς

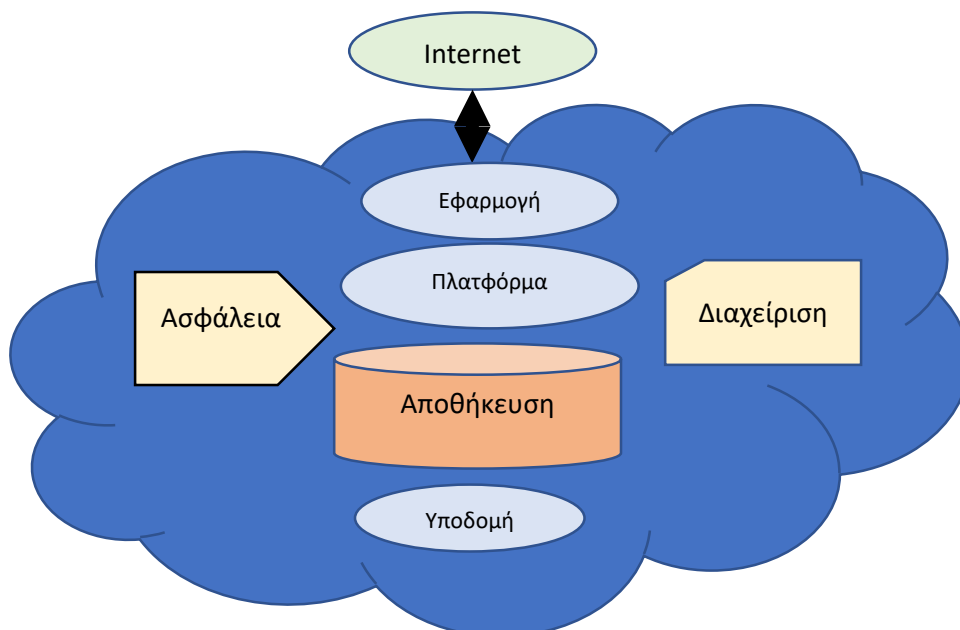
και δικτυακούς πόρους. Είναι το στρώμα θεμελίωσης πάνω στο οποίο στηρίζονται τα στρώματα πλατφόρμας και εφαρμογής.

Το στρώμα πλατφόρμας είναι το πιο σύνθετο τμήμα της αρχιτεκτονικής του υπολογιστικού cloud και μπορεί να χωριστεί περαιτέρω σε πολλαπλά επιμέρους στρώματα. Ένα τέτοιο υποεπίπεδο είναι ένα υπολογιστικό πλαίσιο που διαχειρίζεται την αποστολή συναλλαγών και τον προγραμματισμό εργασιών. Αυτό το πλαίσιο διασφαλίζει ότι οι πόροι χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά και οι εργασίες εκτελούνται εγκαίρως.

Ένα άλλο υποεπίπεδο του επιπέδου πλατφόρμας είναι το υποεπίπεδο αποθήκευσης, το οποίο παρέχει απεριόριστη δυνατότητα αποθήκευσης και προσωρινής αποθήκευσης. Αυτό το υποεπίπεδο είναι υπεύθυνο για τη διασφάλιση ότι τα δεδομένα αποθηκεύονται με ασφάλεια και είναι άμεσα προσβάσιμα όταν χρειάζεται. Επιτρέπει επίσης στους οργανισμούς να αποθηκεύουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων χωρίς να χρειάζεται να ανησυχούν για τους περιορισμούς αποθήκευσης.

Ο διακομιστής εφαρμογών και άλλα στοιχεία υποστηρίζουν την ίδια γενική λογική εφαρμογών όπως και πριν, αλλά είτε με δυνατότητα on-demand είτε με ευέλικτη διαχείριση. Αυτό διασφαλίζει ότι κανένα συστατικό δεν θα γίνει το σημείο συμφόρησης ολόκληρου του συστήματος. Επιπλέον, το επίπεδο εφαρμογής παρέχει μια φιλική προς το χρήστη διεπαφή που επιτρέπει στους τελικούς χρήστες να αλληλοεπιδρούν με το σύστημα χωρίς κόπο.

Το στρώμα διαχείρισης είναι υπεύθυνο για την εποπτεία ολόκληρης της υποδομής υπολογιστικού cloud, διασφαλίζοντας ότι όλα τα στρώματα συνεργάζονται απρόσκοπτα. Περιλαμβάνει εργαλεία για την παροχή, την παρακολούθηση και τη διαχείριση των πόρων, καθώς και για τη διασφάλιση της ασφάλειας και της συμμόρφωσης. [48]



Εικόνα 15: Η δομή του cloud.

Γενικότερα οι υπηρεσίες, που παρέχονται κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες, γνωστές ως μοντέλα υπηρεσιών cloud. Τα μοντέλα αυτά διακρίνονται σε:

- i) Το λογισμικό ως υπηρεσία (SaaS) είναι ένα μοντέλο υπολογιστικού cloud όπου ο πάροχος υπηρεσιών cloud (CSP) είναι υπεύθυνος για την εκτέλεση και τη συντήρηση του λογισμικού εφαρμογών, του λειτουργικού συστήματος και των υπολογιστικών πόρων. Ο πελάτης αποκτά πρόσβαση στην εφαρμογή λογισμικού μέσω μιας διαδικτυακής διεπαφής μέσω του Διαδικτύου, χωρίς να χρειάζεται να αγοράσει άδειες χρήσης, να εγκαταστήσει, να αναβαθμίσει ή να συντηρήσει το λογισμικό στον δικό του υπολογιστή. Δημοφιλή παραδείγματα SaaS περιλαμβάνουν το Gmail και το Google Docs, στα οποία μπορεί να έχει κανείς πρόσβαση μέσω διαφόρων συσκευών-πελατών, όπως φορητοί υπολογιστές, iPads και κινητά τηλέφωνα. Το SaaS προσφέρει πλεονεκτήματα όπως η αποδοτικότητα, η δυνατότητα διαμόρφωσης και η επεκτασιμότητα, καθιστώντας το μια ελκυστική επιλογή για οργανισμούς που θέλουν να μειώσουν το κόστος πληροφορικής και να βελτιώσουν την ευελιξία.
- ii) Η πλατφόρμα ως υπηρεσία (PaaS) είναι ένα μοντέλο υπολογιστικού cloud όπου ένας CSP παρέχει, τρέχει και διατηρεί το λογισμικό του συστήματος και τους υπολογιστικούς πόρους. Ωστόσο, ο πελάτης διαχειρίζεται και εκτελεί το λογισμικό εφαρμογών στους εικονικούς πόρους που παρέχει ο CSP. Ο πελάτης έχει περιορισμένο ή και καθόλου έλεγχο του λειτουργικού συστήματος και των πόρων του υλισμικού. Αυτό επιτρέπει στον πελάτη να σχεδιάζει, να μοντελοποιεί, να αναπτύσσει και να δοκιμάζει εφαρμογές απευθείας στο cloud, δίνοντάς του τον έλεγχο του κύκλου ζωής του λογισμικού. Σε αντίθεση με το SaaS, το PaaS δίνει στον πελάτη τη δυνατότητα να δημιουργήσει και να αναπτύξει τις δικές του εφαρμογές, αντί να του παρέχει προκατασκευασμένες εφαρμογές. Το PaaS είναι επίσης χρήσιμο για συνεργασία μεταξύ πελατών, καθώς επιτρέπει σε πολλούς χρήστες που βρίσκονται σε διαφορετικές χώρες να εργάζονται μαζί στο ίδιο έργο. Παραδείγματα παρόχων PaaS περιλαμβάνουν το Windows Azure, το Google Apps Engine και το Artna Cloud.
- iii) Η υποδομή ως υπηρεσία (IaaS) είναι ένα μοντέλο υπολογιστικού cloud όπου ένας πάροχος υπηρεσιών cloud (CSP) προσφέρει εικονικοποιημένους υπολογιστικούς πόρους στους πελάτες μέσω αυτού. Σε αντίθεση με το PaaS και το SaaS, το IaaS παρέχει στους πελάτες μεγαλύτερο έλεγχο του λειτουργικού τους συστήματος και των εφαρμογών του, καθώς είναι υπεύθυνοι για τη διαχείριση και τη συντήρησή τους στους εικονικούς πόρους που παρέχει ο CSP. Αυτό καθίσταται εφικτό μέσω της τεχνολογίας εικονικοποίησης, η οποία μετατρέπει τους φυσικούς πόρους σε λογικούς πόρους, που μπορούν να παρέχονται και να απελευθερώνονται ανάλογα με τις ανάγκες των πελατών. Ορισμένα δημοφιλή παραδείγματα παρόχων IaaS είναι το Amazon Elastic Compute Cloud (EC2), η Akamai και το Dropbox.[49] Με το IaaS, οι επιχειρήσεις μπορούν να κλιμακώνουν τους υπολογιστικούς πόρους τους ανάλογα

με τις ανάγκες τους, χωρίς να χρειάζεται να ανησυχούν για την προμήθεια πρόσθετου υλικού ή το σχετικό κόστος συντήρησης. Το IaaS είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για επιχειρήσεις που χρειάζονται υψηλό βαθμό ευελιξίας και ελέγχου της υποδομής πληροφορικής τους, όπως αυτές που ασχολούνται με την ανάπτυξη λογισμικού, τις δοκιμές και την ανάπτυξη. [50]



Εικόνα 16: Η υπηρεσίες cloud και που κυρίως απευθύνεται το κάθε μοντέλο. [51]

Μια τελευταία κατηγοριοποίηση του υπολογιστικού cloud είναι αυτή αναμεσά σε ιδιωτικό, δημόσιο, υβριδικό και κοινοτικό.

Το δημόσιο υπολογιστικό cloud είναι ένας τύπος υπολογιστικού cloud στον οποίο οι πόροι του, ανήκουν και λειτουργούν από έναν τρίτο πάροχο υπηρεσιών cloud και διατίθενται στο κοινό μέσω του διαδικτύου. Το δημόσιο υπολογιστικό cloud είναι μια οικονομικά αποδοτική επιλογή για οργανισμούς που πρέπει να αυξάνουν ή να μειώνουν γρήγορα τους υπολογιστικούς τους πόρους ανάλογα με τις ανάγκες τους και δεν θέλουν να επενδύσουν και να συντηρήσουν τη δική τους υποδομή.

Σε ένα ιδιωτικό cloud, μια επιχείρηση έχει πρόσβαση σε υποδομές στο cloud που δεν μοιράζεται με κανέναν άλλον. Η επιχείρηση συνήθως αναπτύσσει τις δικές της πλατφόρμες και εφαρμογές λογισμικού στην υποδομή του νέφους. Η υποδομή της επιχείρησης βρίσκεται συνήθως πίσω από ένα τείχος προστασίας στο οποίο η πρόσβαση γίνεται μέσω του ενδοδικτύου της επιχείρησης μέσω κρυπτογραφημένων συνδέσεων. Το ιδιωτικό cloud παρέχει μεγαλύτερο έλεγχο, ασφάλεια και επιλογές προσαρμογής σε σχέση με το δημόσιο cloud, αλλά απαιτεί επίσης περισσότερες επενδύσεις και συντήρηση από τον οργανισμό.

Το υβριδικό cloud είναι ένας τύπος υπολογιστικού νέφους που συνδυάζει τόσο στοιχεία τόσο του δημόσιου όσο και του ιδιωτικού cloud. Για παράδειγμα, ένας οργανισμός μπορεί να χρησιμοποιεί ένα δημόσιο cloud για μη ευαίσθητα φορτία εργασίας που απαιτούν υψηλή επεκτασιμότητα και ένα ιδιωτικό cloud για ευαίσθητα φορτία εργασίας που απαιτούν μεγαλύτερο έλεγχο και ασφάλεια.

Το κοινοτικό υπολογιστικό cloud είναι ένας τύπος υπολογιστικού cloud που χρησιμοποιείται από κοινού σε μια συγκεκριμένη κοινότητα χρηστών, όπως κυβερνητικές υπηρεσίες, εκπαιδευτικά ιδρύματα ή οργανισμοί υγειονομικής περίθαλψης. Το κοινοτικό cloud παρέχει μεγαλύτερο έλεγχο και επιλογές προσαρμογής από το δημόσιο νέφος, αλλά απαιτεί επίσης περισσότερες επενδύσεις και συντήρηση από τα μέλη της κοινότητας. Το κοινοτικό νέφος

μπορεί να φιλοξενηθεί από έναν τρίτο πάροχο cloud ή από τα ίδια τα μέλη της κοινότητας. Η πρόσφατη ανάπτυξη των κοινοτικών υπολογιστικών cloud δείχνει την ραγδαία εξέλιξη του. Οι CSPs μπορούν να συνδυάζουν διαφορετικούς τύπους clouds με διαφορετικά μοντέλα υπηρεσιών για να παρέχουν στις επιχειρήσεις ελκυστικές λύσεις cloud που ανταποκρίνονται αποκλειστικά στις ανάγκες μιας εταιρείας.[52]

### 2.1.7 Προσθετική Μηχανική

Το AM είναι ένα ακρωνύμιο για το Additive Manufacturing, το οποίο είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιεί ένα τρισδιάστατο σύστημα σχεδίασης με τη βοήθεια υπολογιστή, CAD όπου αναλύθηκε παραπάνω, για την άμεση κατασκευή ενός μοντέλου, χωρίς την ανάγκη σχεδιασμού της διαδικασίας. Αν και η διαδικασία δεν είναι τόσο απλή όσο ακούγεται, η τεχνολογία AM απλοποιεί την παραγωγή σύνθετων τρισδιάστατων αντικειμένων απευθείας από δεδομένα CAD. Αντίθετα, άλλες διαδικασίες κατασκευής απαιτούν λεπτομερή ανάλυση της γεωμετρίας του εξαρτήματος για να καθοριστεί η σειρά των χαρακτηριστικών, τα εργαλεία και οι διαδικασίες που θα χρησιμοποιηθούν, καθώς και τα πρόσθετα εξαρτήματα που απαιτούνται για την ολοκλήρωση του εξαρτήματος. Από την άλλη πλευρά, η προσθετική μηχανική απαιτεί μόνο βασικές λεπτομέρειες διαστάσεων και μια μικρή κατανόηση της μηχανής προσθετικής μηχανικής και των υλικών που χρησιμοποιούνται.

Η τεχνολογία αυτή παράγει εξαρτήματα προσθέτοντας υλικό σε στρώματα, όπου κάθε στρώμα είναι μια λεπτή διατομή του εξαρτήματος που προέρχεται από τα αρχικά δεδομένα CAD. Το πάχος κάθε στρώματος καθορίζει την τελική προσέγγιση των αρχικών δεδομένων. Η προσέγγιση με βάση τα στρώματα είναι κοινή σε όλες τις εμπορικά διαθέσιμες μηχανές προσθετικής μηχανικής. Ωστόσο, τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ο τρόπος δημιουργίας των στρωμάτων και ο τρόπος σύνδεσης μεταξύ τους διαφέρουν μεταξύ των μηχανών. Οι διαφορές αυτές επηρεάζουν την ακρίβεια, τις ιδιότητες των υλικών και τις μηχανικές ιδιότητες του τελικού εξαρτήματος, καθώς και την ταχύτητα παραγωγής, τις απαιτήσεις μετά - επεξεργασίας, το μέγεθος της μηχανής και το συνολικό κόστος.[53]

Παρά τον αυξανόμενο αριθμό καινοτόμων διεργασιών AM, αυτές έχουν τις ρίζες τους σε καθιερωμένες θεμελιώδεις τεχνολογίες. Οι τεχνολογίες αυτές περιλαμβάνουν:

#### ➤ Φωτοπολυμερισμός Δεξαμενής

Ο φωτοπολυμερισμός δεξαμενής (Vat Photopolymerisation ) είναι επίσης γνωστός ως στερεολιθογραφία. Αυτός ο τύπος προσθετικής κατασκευής χρησιμοποιεί μια δεξαμενή με υγρή φωτοπολυμερή ρητίνη μέσω της οποίας εκτυπώνονται τα επιθυμητά μοντέλα.

Η διαδικασία φωτοπολυμερισμού περιλαμβάνει τη χρήση κατόπτρων που ελέγχονται από έναν κινητήρα για να κατευθύνουν υπεριώδες φως στην επιφάνεια της ρητίνης, οδηγώντας σταδιακά στη σκλήρυνσή της. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε νέο στρώμα μέχρι



την ολοκλήρωση του μοντέλου, ο περισσότερος εξοπλισμός χρησιμοποιεί λεπίδες για την αφαίρεση τυχόν ελαττωμάτων σε κάθε στρώμα πριν από τη σκλήρυνσή του για μεγαλύτερη ακρίβεια και φινίρισμα. Η χρήση υγρού βοηθά στην επίτευξη υψηλής ακρίβειας και λεπτομέρειας στο τελικό προϊόν, αλλά δεν διαθέτει τη δομική υποστήριξη που προσφέρουν άλλοι τύποι προσθετικής κατασκευής, η οποία μπορεί να αντισταθμιστεί με την προσθήκη δομών στήριξης.

Παρόλο που η διαδικασία φωτοπολυμερισμού δεξαμενής είναι γρήγορη, απαιτεί όμως υψηλό χρόνο καθαρισμού και μετά επεξεργασίας.

#### ➤ Εκτόξευση υλικού

Η εκτόξευση υλικού (material jetting) είναι μια άλλη διαδικασία προσθετικής κατασκευής όπου η κεφαλή εκτύπωσης τοποθετείται πάνω από την πλατφόρμα και το υλικό εναποτίθεται στην επιφάνεια με μορφή σταγονιδίων. Με τη βοήθεια φορτισμένων πλακών εκτροπής, εκατοντάδες μικρό σταγονίδια τοποθετούνται με ακρίβεια για τη δημιουργία ενός στρώματος, το οποίο στη συνέχεια στερεοποιείται. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται, δημιουργώντας διαδοχικά στρώματα.

Τα σταγονίδια μπορούν να διανέμονται συνεχώς ή μεμονωμένα, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Drop-on-Demand (DOD). Η εκτόξευση υλικού μπορεί να χρησιμοποιήσει μια ποικιλία υλικών, όπως πολυμερή. Αυτός ο τύπος προσθετικής κατασκευής είναι ακριβής και επιτρέπει τη χρήση πολλαπλών υλικών σε ένα μόνο έργο. Ωστόσο, δεν είναι η πιο αποδοτική μέθοδος, καθώς η δεξαμενή εξαντλείται γρήγορα, απαιτώντας συχνή αναπλήρωση. Η εκτόξευση υλικών χρησιμοποιείται συνήθως για την παραγωγή ρεαλιστικών μοντέλων ή πρωτοτύπων.

#### ➤ Εκτόξευση συνδετικού υλικού

Αυτή η μορφή προσθετικής κατασκευής περιλαμβάνει τη χρήση ενός συνδετικού υλικού και ενός υλικού σε σκόνη. Ένας κύλινδρος εφαρμόζει το υλικό με βάση τη σκόνη στην πλατφόρμα κατασκευής και στη συνέχεια η κεφαλή εκτύπωσης εναποθέτει το συνδετικό υλικό από πάνω. Το συνδετικό υλικό συγκολλά τα στρώματα μεταξύ τους. Μετά την εναπόθεση κάθε στρώματος, το προϊόν κατεβαίνει στην πλατφόρμα και η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου ολοκληρωθεί το τελικό προϊόν.

Η μέθοδος αυτή επιτρέπει τη χρήση διαφορετικών υλικών, συμπεριλαμβανομένων πολυμερών, κεραμικών και μετάλλων. Η εκτόξευση συνδετικού υλικού θεωρείται μια γρήγορη μέθοδος προσθετικής κατασκευής που προσφέρει αρκετές επιλογές προσαρμογής. Η αναλογία συνδετικού υλικού-σκόνης μπορεί να ρυθμιστεί για την επίτευξη μιας συγκεκριμένης ποιότητας υλικού και στο προϊόν μπορούν να προστεθούν χρωματικές παραλλαγές.

#### ➤ Εξώθηση υλικού

Η εξώθηση υλικού είναι ένας τύπος διαδικασίας προσθετικής κατασκευής που χρησιμοποιείται συνήθως σε φθηνούς οικιακούς τρισδιάστατους εκτυπωτές. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την εξαγωγή του υλικού μέσω μιας κεφαλής, τη θέρμανσή του και, στη συνέχεια, την εναπόθεσή του σε συνεχόμενη ροή. Η κεφαλή εξώθησης κινείται οριζόντια,

ενώ η πλατφόρμα κινείται πάνω, κάτω και κάθετα, δημιουργώντας τα στρώματα. Το υλικό θερμαίνεται κατά την εφαρμογή του, επιτρέποντάς του να συγχωνευτεί με το προηγούμενο στρώμα, ενώ η συγκόλληση μεταξύ των στρωμάτων μπορεί να ελεγχθεί μέσω της θερμοκρασίας και των χημικών παραγόντων.

Αν και η εξώθηση υλικού συνδέεται συχνά με τρισδιάστατους εκτυπωτές χαμηλού κόστους, έχει πολλές δυνατότητες. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολυμερή και πλαστικά, παρέχοντας ισχυρή δομική υποστήριξη. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή έχει περιορισμούς, η μέθοδος με την χρήση κεφαλής εξώθησης μειώνει την ακρίβεια και η εξώθηση υλικού είναι ένας από τους πιο αργούς τύπους προσθετικής κατασκευής.

#### ➤ Σύντηξη σε κλίνη σκόνης

Η σύντηξη σε κλίνη σκόνης είναι ένας τύπος προσθετικής κατασκευής που περιλαμβάνει την εφαρμογή ενός στρώματος σκόνης σε μια πλατφόρμα και στη συνέχεια τη χρήση μιας πηγής θερμικής ενέργειας, όπως ένα λέιζερ ή μια δέσμη ηλεκτρονίων, για τη σύντηξη της σκόνης. Στη συνέχεια, ένας κύλινδρος ή μια λεπίδα εφαρμόζει ένα δεύτερο στρώμα και η διαδικασία επαναλαμβάνεται στρώμα προς στρώμα. Αυτή η διαδικασία κατασκευής μπορεί να έχει παραλλαγές όπως η επιλεκτική τήξη με λέιζερ (SLM), η επιλεκτική θερμοσυσσωμάτωση με λέιζερ (SLS), η τήξη με δέσμη ηλεκτρονίων (EBM) και η θερμοσυσσωμάτωση με λέιζερ άμεσου μετάλλου (DMLS). Ανεξάρτητα από την μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί, όλες οι διεργασίες σύντηξης κλίνης σκόνης λαμβάνουν χώρα σε ένα περιβάλλον θαλάμου σχεδόν κενού, το οποίο είναι προθερμασμένο με αδρανές αέριο. Συχνά χρησιμοποιούνται μέταλλα και πολυμερή υλικά σε σκόνη, τα οποία λειτουργούν ως δομή στήριξης και την καθιστούν κατάλληλο τύπο για πρωτότυπα και οπτικά μοντέλα.

Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα μειονεκτήματα στη μέθοδο σύντηξης σε κλίνη σκόνης. Χρειάζεται περισσότερος χρόνος για την ολοκλήρωση των έργων σε σχέση με άλλους τύπους προσθετικής κατασκευής, και λόγω της φύσης της σκόνης δεν είναι κατάλληλο για περιβάλλον γραφείου. Παρόλα αυτά, η διαδικασία σύντηξης κλίνης σκόνης εξακολουθεί να χρησιμοποιείται σε διάφορες βιομηχανίες, συμπεριλαμβανομένης της αεροπορίας και της αεροδιαστημικής.

#### ➤ Λαμινάρισμα φύλλου

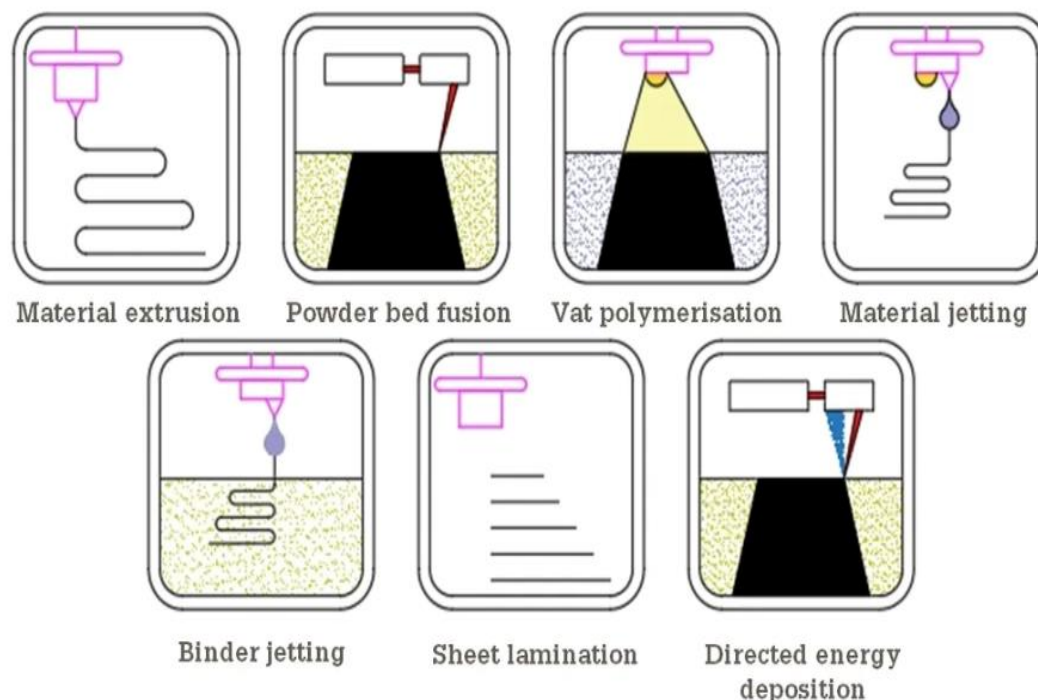
Το λαμινάρισμα φύλλων (SHL) είναι μια απλή μέθοδος προσθετικής μηχανικής. Χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή έγχρωμων αντικειμένων σε υψηλή ανάλυση. Η SHL είναι ουσιαστικά μια διαδικασία στοίβαξης πολύ λεπτών φύλλων υλικού και πλαστικοποίησής τους μεταξύ τους μέσω συγκόλλησης με υπερήχους, σύνδεσης ή συγκόλλησης. Λεπτά υλικά σε στρώσεις, όπως φύλλο αλουμινίου ή νήματα με βάση το χαρτί, συγκολλούνται και στη συνέχεια κόβονται σε διαμορφωμένα στρώματα με λέιζερ ή αιχμηρή λεπίδα. Η πιο συνηθισμένη τεχνολογία SHL είναι η συνένωση με υπερήχους (UC) ή προσθετική μηχανική με υπερήχους (UAM). Σε αυτή την τεχνική, μεταλλικά φύλλα θερμοκρασίας δωματίου συγκολλούνται μεταξύ τους με την εφαρμογή υπερηχητικών κυμάτων και μηχανικής πίεσης. Το τελικό αντικείμενο κατασκευάζεται με κοπή με λέιζερ ή μαχαιριού με την εφαρμογή κυρίως κατεργασιών CNC.

Η ακρίβεια είναι μερικές φορές ελλιπής στην μέθοδο με λαμινάρισμα φύλλων και μπορεί τα έργα που χρησιμοποιούν αυτή τη διαδικασία προσθετικής κατασκευής, ενδέχεται έπειτα να απαιτούν επιπλέον επεξεργασία.

➤ Κατευθυνόμενη απόθεση ενέργειας

Η διαδικασία Κατευθυνόμενης Απόθεσης Ενέργειας DED (Direct Energy Deposition) περιλαμβάνει την τήξη σκόνης ή σύρματος χρησιμοποιώντας μια εξαιρετικά εστιασμένη πηγή ενέργειας, συνήθως ένα λέιζερ, στο σημείο εναπόθεσης. Το λιωμένο υλικό ενσωματώνεται στη συνέχεια στη ροή ενέργειας και ταυτόχρονα εναποτίθεται. Η DED διαφέρει από άλλες τεχνολογίες AM, καθώς μπορεί να κινηθεί προς πολλαπλές κατευθύνσεις, συγκεκριμένα σε πέντε άξονες, παρέχοντας μεγαλύτερη ελευθερία κινήσεων. Αυτή η διαδικασία μπορεί να ενσωματώσει το λιωμένο υλικό σε μια πλατφόρμα κατασκευής ή σε ένα εξάρτημα που απαιτεί επισκευή ή τροποποίηση. Η DED είναι παρόμοια με την παραδοσιακή συγκόλληση, αλλά είναι ικανή να παράγει λεπτές λεπτομέρειες που δεν μπορεί να επιτύχει η συγκόλληση.

Υπάρχουν διάφορες υποκατηγορίες της διαδικασίας DED, οι οποίες ταξινομούνται βάση της πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται για την τήξη του υλικού, αλλά λειτουργούν με τις ίδιες αρχές. Η άμεση διάθεση ενέργειας χρησιμοποιείται συχνά για την επισκευή ή την κατασκευή εξαρτημάτων. [54] [55]



Εικόνα 17: Αναπαράσταση των κατηγοριών της προσθετικής μηχανικής [56]

Παρόλο που πολλές διαδικασίες προσθετικής μηχανικής έχουν σχεδιαστεί για συνήθη υλικά όπως τα πολυμερή, υπάρχει ανάγκη εύρεσης νέων διαδικασιών προσθετικής μηχανικής που μπορούν να εκτυπώνουν με μέταλλα. Καθώς τα μέταλλα είναι τα συχνότερα

χρησιμοποιούμενα υλικά σε βιομηχανικές εφαρμογές, η εστίαση μετατοπίζεται προς την ανάπτυξη νέων διεργασιών προσθετικής μηχανικής και υβριδικής κατασκευής που μπορούν να εκτυπώνουν με μέταλλα. [57]

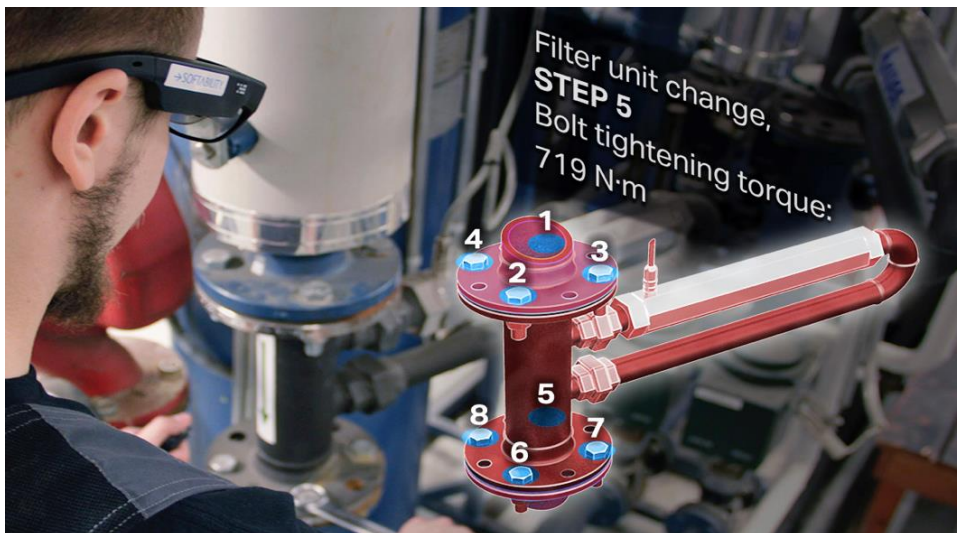
### 2.1.8 Επαυξημένη πραγματικότητα

Η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) είναι μια τεχνική που περιλαμβάνει την επικάλυψη ενός τεχνητού αντικειμένου, όπως ένα μοντέλο CAD, ένα σύμβολο, μια εικόνα ή ένα κείμενο, σε μια ζωντανή ροή βίντεο του πραγματικού κόσμου. Οι συγκεκριμένες απαιτήσεις υλισμικού και λογισμικού για την υλοποίηση της AR εξαρτώνται από παράγοντες όπως η πολυπλοκότητα της εικονικής σκηνής, η συσκευή που χρησιμοποιείται, οι ανάγκες απόδοσης σε πραγματικό χρόνο και το επιθυμητό επίπεδο λεπτομέρειας. Ωστόσο, οι περισσότερες εφαρμογές AR απαιτούν μια κάμερα για την καταγραφή του πραγματικού κόσμου, μια οθόνη ή έναν φακό για την προβολή της ροής βίντεο και υπολογιστικούς πόρους όπως έναν υπολογιστή, έναν απλό επεξεργαστή ή έναν μικρό - ελεγκτή για την επεξεργασία της ροής βίντεο, την ανίχνευση της θέσης και του προσανατολισμού της κάμερας και την επικάλυψη του εικονικού αντικειμένου στο ζωντανό βίντεο.[58]

Η συνεχής ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, έχει ως αποτέλεσμα τη χρήση εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας σε διάφορες βιομηχανίες. Η επαυξημένη πραγματικότητα χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που σχετίζονται κυρίως με την συντήρηση, τις εργασίες συναρμολόγησης, στη συνεργασία ανθρώπου-ρομπότ, στην κατασκευή, στην εκπαίδευση και στην εφοδιαστική αλυσίδα.

Οι εργασίες συντήρησης αποτελούν τον σημαντικότερο τομέα εφαρμογής της. Σε αυτές τις εφαρμογές, οι τεχνικοί είναι προ-εξοπλισμένοι με πληροφορίες, ακολουθίες οδηγιών ή εγχειρίδια χρήσης στις έξυπνες συσκευές τους. Εφαρμογές επαυξημένης έχουν επίσης αναπτυχθεί για την υποστήριξη της διάγνωσης και την τεκμηρίωση των επισκευών που πραγματοποιούνται, οδηγώντας σε εξελίξεις στην εκτέλεση της συντήρησης και της παραγωγής.

Ο δεύτερος πιο συνηθισμένος τομέας εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας είναι οι εργασίες συναρμολόγησης. Η επαυξημένη πραγματικότητα χρησιμοποιείται για τη μείωση του χρόνου συναρμολόγησης και τη βελτίωση της ποιότητας της, παρέχοντας στους εργαζόμενους πληροφορίες σχετικά με τη σειρά σύνδεσης των εξαρτημάτων, οπτική βοήθεια για τη θέση του επόμενου στοιχείου και τεχνικές για τη σύνδεση των εξαρτημάτων, όπως για παράδειγμα φαίνεται στην εικόνα 18. Επίσης ένα πλήθος εφαρμογών AR έχουν αναπτυχθεί για την εκπαίδευση των εργαζομένων, για τις δύο παραπάνω εργασίες, μειώνοντας το χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση των εργασιών και βελτιώνοντας την ανθρώπινη απόδοση.



Εικόνα 18: Παράδειγμα χρήσης της επαυξημένης πραγματικότητας για την βήμα - βήμα καθοδήγηση συντήρησης [59]

Οι εφαρμογές AR μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη συνεργασία ανθρώπου-ρομπότ, συμπεριλαμβανομένου του προγραμματισμού και του καθορισμού τροχιάς, μέσω του συστήματος χαρτογράφησης που έχουν. Εφαρμογές AR έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για να δείχνουν στους χειριστές τη θέση μη ασφαλών περιοχών, βελτιώνοντας την ασφάλεια των εργαζομένων και του εξοπλισμού.

Αξιοσημείωτες είναι και οι εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας που σχετίζονται με την έξυπνη κατασκευή, με την τεχνολογία αυτή αυξάνεται ως ένα βαθμό η ποιότητα των προϊόντων, η ποιότητα εργασίας και η παραγωγικότητα. Η AR μπορεί να βοηθήσει τους χειριστές στην εκτέλεση εργασιών ελέγχου ποιότητας, για παράδειγμα μπορεί μέσω ζωντανής προσομοίωσης να παρουσιάζει εικονικά την περιοχή όπου έχει ανιχνεύσει το σύστημα ότι έχει γίνει κάποιο λάθος.[60]

Γενικότερα, η εφαρμογή της επαυξημένης πραγματικότητας στη Βιομηχανία 4.0 έχει ανοίξει έναν νέο κόσμο δυνατοτήτων για τις επιχειρήσεις που επιθυμούν να αυξήσουν την παραγωγικότητα, την αποδοτικότητα και την ασφάλεια στις δραστηριότητές τους. Με την τεχνολογία AR, οι εργαζόμενοι μπορούν να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες, εκπαίδευση και καθοδήγηση σε πραγματικό χρόνο ακριβώς στο χώρο του εργοστασίου, μειώνοντας τα λάθη και βελτιώνοντας τα αποτελέσματα. Η AR επιτρέπει την εξ αποστάσεως συνεργασία και επικοινωνία, επιτρέποντας στις ομάδες να συνεργάζονται ανεξαρτήτως από την τοποθεσία στην οποία βρίσκονται, κάνοντας έτσι τα πρώτα βήματα στην χρήση τεχνολογιών προσομοίωσης στην βιομηχανία.

### 2.1.9 Αυτόνομα Ρομπότ

Ο ορισμός ενός αυτόνομου ρομποτικού συστήματος είναι μια τεχνητά ευφυή οντότητα που λειτουργεί ανεξάρτητα, χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης αλληλεπίδρασης. Αντίθετα, τα ρομποτικά συστήματα είναι φυσικές οντότητες που αλληλοεπιδρούν με τον φυσικό κόσμο. Επομένως, ένα αυτόνομο ρομποτικό σύστημα είναι μια υβριδική μηχανή που συνδυάζει υλισμικό και λογισμικό, χρησιμοποιώντας τεχνητή νοημοσύνη για να λειτουργεί και να αλληλοεπιδρά με τον φυσικό κόσμο. Τα συστήματα αυτά είναι πολύπλοκα και απαιτούν στενή εξέταση της ασφάλειας, των νομικών και ηθικών πτυχών. Η αυτόνομη ρομποτική γίνεται όλο και πιο διαδεδομένη, με χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτά των αυτοκίνητων χωρίς οδηγό, των αεροσκαφών χωρίς πιλότο και των οικιακών βοηθών. Ωστόσο, οι μοναδικές προκλήσεις που θέτει η αυτόνομη ρομποτική, είναι ότι η εξάρτησή τους από εξελιγμένες διαδικασίες ελέγχου και λήψης αποφάσεων λογισμικού και η ανάπτυξή τους σε κρίσιμα για την ασφάλεια σενάρια απαιτούν μια ισχυρότερη μορφή επαλήθευσης. Ως εκ τούτου, οι τυπικές μέθοδοι, οι οποίες χρησιμοποιούν τεχνικές βασισμένες σε μαθηματικά για τον προσδιορισμό και την επαλήθευση συστημάτων λογισμικού, χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για τη διασφάλιση της ορθότητας και της πιστοποίησης αυτών των συστημάτων.[61]

Η ευφυής ρομποτική έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε ιατρικές και στρατιωτικές εφαρμογές, αλλά μόλις πρόσφατα άρχισε να διεισδύει στον βιομηχανικό τομέα. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι οι βιομηχανικές εφαρμογές απαιτούν καθιερωμένα και τυποποιημένα πρωτόκολλα διορθωτικής και προληπτικής συντήρησης, καθώς και εκπαιδευμένους τεχνικούς που είναι ευρέως διαθέσιμοι με καθιερωμένα προγράμματα κατάρτισης. Η εισαγωγή της ευφυούς ρομποτικής σημαίνει ότι οι κατασκευαστές θα χρειαστούν τεχνικούς που θα είναι εκπαιδευμένοι για να χειριστούν τη νέα αλλαγή στην τεχνολογία.

Η επόμενη γενιά ευφυούς βιομηχανικής ρομποτικής προσφέρει δύο βασικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την τρέχουσα γενιά. Πρώτον, αυτά τα ρομπότ έχουν την ικανότητα να οδηγηθούν αυτόνομα στην γνώση, πράγμα που σημαίνει ότι μπορούν να βελτιστοποιούν τις διαδικασίες τους και να επιλύουν προβλήματα μόνα τους. Για παράδειγμα, ένα έξυπνο ρομπότ μπορεί να αυτό μαθητεύετε για να στρίβει το ίδιο για την καλύτερη δυνατή συγκράτηση ενός εξαρτήματος και το εξάρτημα που βρίσκεται μπροστά του δεν χρειάζεται να έχει ακριβή προσανατολισμό για να το χειριστεί το ρομπότ. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τη ρομποτική σημερινής γενιάς, η οποία δεν μπορεί να μάθει από μόνη της και είναι πιο επιρρεπής σε εμπλοκές αν ο προσανατολισμός του εξαρτήματος αλλάξει έστω και ελάχιστα.

Δεύτερον, η κινητικότητα, η ελεύθερη κίνηση και η ικανότητα συνεργασίας της ευφυούς ρομποτικής βελτιώνει σημαντικά την παραγωγικότητα και την ασφάλεια. Η σημερινή γενιά βιομηχανικών ρομπότ είναι απομονωμένα σε κλειστούς χώρους και λειτουργούν μόνο σε εξαιρετικά ελεγχόμενα και ντετερμινιστικά περιβάλλοντα για λόγους ασφαλείας.

Η επόμενη γενιά ευφυούς βιομηχανικής ρομποτικής βασίζεται σε διάφορες βασικές τεχνολογίες. Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) διαδραματίζει κεντρικό ρόλο, με αλγορίθμους που βασίζονται στα νευρωνικά δίκτυα, που αφορά τις τεχνικές βαθιάς μάθησης όπως αναφέρθηκε παραπάνω, απλοποιώντας τις διαδικασίες αντιμετώπισης προβλημάτων και μειώνοντας σημαντικά το κόστος για τους κατασκευαστές. Επίσης είναι εξοπλισμένα με



αισθητήρια συστήματα που περιλαμβάνουν οπτικούς σαρωτές και συστήματα όρασης με τους κατάλληλους αλγόριθμους επεξεργασίας εικόνας.

Η βιομηχανική ρομποτική που διαθέτει τη μηχανική μάθηση και προηγμένες δυνατότητες αντίληψης έχει ήδη αναπτυχθεί στη βιομηχανία ως συνεργατικά ρομπότ (Co-bots). Σε σύγκριση με τα παραδοσιακά βιομηχανικά ρομπότ, τα Co-bots είναι πιο δυναμικά και συμπαγή σε μέγεθος, εξοπλισμένα με προηγμένα υπολογιστικά και αισθητήρια συστήματα για να αντιλαμβάνονται την ανθρώπινη παρουσία γύρω τους. Μελέτες εδάφους που διεξήχθησαν στην Toyota, τη Ford και τη Mercedes Benz, όπως φαίνεται και στην εικόνα 19, δείχνουν ότι η ανάπτυξη Co-bots είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής.

Τα προηγμένα συστήματα ανίχνευσης, αντίληψης και καθοδήγησης πλοήγησης είναι επίσης ζωτικής σημασίας για την βιομηχανική ρομποτική επόμενης γενιάς. Τα συστήματα ανίχνευσης ροπής δύναμης και όρασης επιτρέπουν στα ρομπότ να εργάζονται ελεύθερα με τον άνθρωπο. Επιπλέον, η αξιοποίηση της τεχνολογίας επαυξημένης πραγματικότητας στους ελεγκτές ρομποτικής επιτρέπει στον χειριστή να απεικονίζει τις προθέσεις, τις θέσεις και τις καταστάσεις του ρομπότ, όπως η θέση του στόχου και αν τα επιλεγμένα αντικείμενα είναι σωστά ή όχι. Αυτή η ικανότητα επιτρέπει την καλύτερη συνεργασία μεταξύ ανθρώπων και ρομπότ αντί για την εκτέλεση εργασιών ανεξάρτητα.

Οι πλατφόρμες διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) και η δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας είναι επίσης ζωτικής σημασίας για την ευφυή βιομηχανική ρομποτική επόμενης γενιάς. Η συνδεσιμότητα των ευφύων ρομπότ είναι απαραίτητη για τη βέλτιστη αξιοποίηση των λειτουργιών τους καθώς και για τον καλύτερο συγχρονισμό τους.[62]



Εικόνα 19: Αυτόνομα ρομπότ αναλαμβάνουν ένα κόμματα των διεργασιών για την κατασκευή της mercedes s class.[63]

Ενώ η ανάπτυξη της ευφυούς βιομηχανικής ρομποτικής έχει πολλά οφέλη, είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε τα πιθανά μειονεκτήματα που συνοδεύουν αυτή την τεχνολογία. Μια σημαντική ανησυχία είναι η εκτόπιση των ανθρώπινων εργαζομένων. Καθώς τα ευφυή ρομπότ διαδίδονται όλο και περισσότερο στη μεταποίηση και σε άλλες βιομηχανίες, υπάρχει ο κίνδυνος να αντικατασταθούν οι ανθρώπινοι εργαζόμενοι από ρομπότ, οδηγώντας σε ανεργία και οικονομική αστάθεια.

Επιπλέον, η εφαρμογή της ευφυούς βιομηχανικής ρομποτικής απαιτεί σημαντικές επενδύσεις τόσο στην ίδια την τεχνολογία όσο και στην εκπαίδευση των τεχνικών για τη λειτουργία και τη συντήρησή της. Αυτό μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο εισόδου για τις μικρότερες εταιρείες, οδηγώντας ενδεχομένως σε παγίωση και μονοπώλιο των οικονομικά ισχυρότερων στον κλάδο.

Ένα άλλο μειονέκτημα της ευφυούς βιομηχανικής ρομποτικής είναι η πιθανότητα παραβίασης δεδομένων και επιθέσεων στον κυβερνοχώρο. Με την αυξανόμενη συνδεσιμότητα και ενσωμάτωση αυτών των ρομπότ με άλλα συστήματα, υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος απειλών στον κυβερνοχώρο που θα μπορούσαν να θέσουν σε κίνδυνο ευαίσθητα δεδομένα ή να διαταράξουν πολλές από τις λειτουργίες.

Οι κοινωνικές επιπτώσεις είναι ένα ακόμη εμπόδιο στην πλήρη καθιέρωση τους. Καθώς τα ρομπότ γίνονται πιο προηγμένα και ικανά να εκτελούν σύνθετες εργασίες, ενδέχεται να υπάρξουν ηθικές ανησυχίες σχετικά με τον ρόλο της αυτοματοποίησης στην κοινωνία και τον αντίκτυπό της στην ανθρώπινη αξιοπρέπεια. Είναι σημαντικό να εξεταστούν αυτά τα ζητήματα και να διασφαλιστεί ότι η ανάπτυξη της ευφυούς βιομηχανικής ρομποτικής γίνεται με ηθικό και υπεύθυνο τρόπο.

Εν κατακλείδι, ενώ η ευφυής βιομηχανική ρομποτική προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά την παραγωγικότητα, την ασφάλεια και την αποδοτικότητα, είναι σημαντικό να εξεταστούν προσεκτικά και να αντιμετωπιστούν τα πιθανά μειονεκτήματα και οι προκλήσεις που συνοδεύουν την εφαρμογή της.

## 2.2. Ανάγκη Μετάβασης στην Βιομηχανία 5.0

Η Βιομηχανία 4.0 έχει φέρει μεγάλη επανάσταση στον κλάδο της μεταποίησης, μετατρέποντας τα παραδοσιακά μηχανικά και ηλεκτρικά προϊόντα σε έξυπνα προϊόντα που ενσωματώνουν υλισμικό, λογισμικό, αισθητήρες, αποθήκευση δεδομένων, μικροεπεξεργαστές και συνδεσιμότητα. Αυτός ο μετασχηματισμός δημιουργεί ένα νέο κύμα ανταγωνισμού, όπου οι παραδοσιακοί κατασκευαστές θα αγωνιστούν για να καταφέρουν να επιβιώσουν. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες βιομηχανικές επαναστάσεις, η Βιομηχανία 4.0 δημιουργεί προϊόντα όπου οι εφαρμογές τους όπως το διαδίκτυο των πραγμάτων θα αποτελούν βασικό μέρος κάθε προϊόντος, οδηγώντας σε διαρθρωτικές αλλαγές και επιχειρηματικές ευκαιρίες σε όλο τον κύκλο ζωής του προϊόντος.



Τα έξυπνα προϊόντα θα δημιουργήσουν διαφοροποίηση των υπαρχόντων προϊόντων, τμηματοποίηση πελατών, δυναμικό καθορισμό τιμών, υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας και στενότερες σχέσεις με τους πελάτες. Ωστόσο, η εφαρμογή της Βιομηχανίας 4.0 συνοδεύεται από προκλήσεις όπως το κόστος, η τεχνογνωσία και η ορθολογική εφαρμογή των νέων συστημάτων και η ανάγκη για μεγαλύτερη έμφαση στην βιωσιμότητα. Οι νεοεισερχόμενοι ενδέχεται να δυσκολευτούν να εισέλθουν στην αγορά, ιδίως σε αγορές όπου οι ανταγωνιστές έχουν ήδη εφαρμόσει τις νέες τεχνολογίες.

Παρ' όλα αυτά, η χρήση της τεχνολογίας στη Βιομηχανία 4.0 μπορεί να σπάσει τα υψηλά εμπόδια εισόδου στην αγορά. Η απειλή των υποκατάστατων προϊόντων θα είναι αρχικά χαμηλή λόγω της διαφοροποίησης των προϊόντων, αλλά με την πάροδο του χρόνου, οι επιχειρήσεις με επιχειρηματικά μοντέλα επικεντρωμένα στο προϊόν-υπηρεσία μπορεί να αποτελέσουν απειλή υποκατάστασης. Η διαπραγματευτική δύναμη των προμηθευτών θα είναι αρχικά μικρή, αλλά με την πάροδο του χρόνου μπορεί να προκύψουν ζητήματα που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από τις ανταγωνιστικές επιχειρήσεις και να οδηγήσουν σε έντονες διαπραγματευτικές δυνάμεις.

Συνοπτικά, στον παρακάτω πίνακα φαίνονται συγκεντρωμένα κάποια από τα θετικά και τα αρνητικά αντίκτυπα που προκύπτουν από την εφαρμογή της Βιομηχανίας 4.0. :

<i>Πλεονεκτήματα</i>	<i>Μειονεκτήματα</i>
Στρατηγική Ανταγωνιστικού Πλεονεκτήματος	Αρνητικό αντίκτυπο λόγω της αυξημένης συνδεσιμότητας των δεδομένων σε ένα όλο και πιο ανταγωνιστικό περιβάλλον
Οργανωτική Αποδοτικότητα και Αποτελεσματικότητα	Σχεδόν αναγκαία η ολική εφαρμογή των τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0 για την επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων
Ευελιξία στην Οργάνωση	Απαραίτητη η υψηλή εξειδίκευση του προσωπικού
Βιομηχανική Καινοτομία	Σοσιο- τεχνολογικές επιπτώσεις
Αύξηση του κέρδους	Ανάγκη για υψηλές επένδυσης στην κυβερνώ - ασφάλεια
Αυξημένη ποιότητα	Υψηλό επενδυτικό κόστος
Λειτουργικότητα	Διαχείριση αντιμετώπισης των εργαζομένων και του ευρύτερου κοινό
Παρέχεται εξαιρετική τεχνολογική εμπειρία στον πελάτη	Περιβαλλοντολογικό αποτύπωμα

Πίνακας 2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της Βιομηχανία 4.0 [64]

Από την άλλη, η ενσωμάτωση του ευφυούς εξοπλισμού με την ανθρώπινη εργασία γίνεται όλο και πιο διαδεδομένη στους χώρους εργασίας. Ενώ υπάρχουν πολλά πιθανά οφέλη από αυτή την ενσωμάτωση, όπως η αυξημένη παραγωγικότητα και αποδοτικότητα, θέτει επίσης σημαντικές προκλήσεις για την ασφάλεια και την ευημερία των εργαζομένων. Προκειμένου

να αντιμετωπιστούν αυτές οι προκλήσεις και να βελτιωθεί η ενσωμάτωση της ανθρώπινης εργασίας με ευφυή εξοπλισμό, απαιτείται περισσότερη διεπιστημονική έρευνα.

Συγκεκριμένα, απαιτείται έρευνα για την αντιμετώπιση των αναδυόμενων επαγγελματικών κινδύνων σε όλα τα επίπεδα της παραγωγής. Αυτό περιλαμβάνει τη βελτίωση της κοινωνικής ευθύνης των επιχειρήσεων, του σχεδιασμού και της διαμόρφωσης των χώρων εργασίας και της αποτελεσματικής χρήσης των τεχνολογιών. Πρέπει επίσης να μελετηθούν οι συνέπειες για την οργάνωση της εργασίας και οι σχετικοί ψυχοκοινωνικοί κίνδυνοι.

Επιπλέον, απαιτούνται νέα πρότυπα ή επικαιροποιήσεις των ήδη υπαρχόντων προτύπων για την προσαρμογή στη μεταβαλλόμενη πραγματικότητα του χώρου εργασίας και τη βελτίωση της χρήσης των νέων τεχνολογιών. Τα μοντέλα διαχείρισης των επιχειρήσεων πρέπει να επανεξεταστούν υπό το πρίσμα των μεταβαλλόμενων ανθρώπινων και κοινωνικών παραγόντων. Η κατανομή των καθηκόντων μεταξύ των εργαζομένων και των ευφύων συσκευών, πρέπει να λαμβάνει υπόψη όλους τους σχετικούς ρυθμιζόμενους φυσικούς και γνωστικούς παράγοντες για τους σκοπούς της αυτοματοποίησης.

Η διαμόρφωση του εξοπλισμού και η προσπάθεια που απαιτείται για τον χειρισμό του πρέπει να προσαρμόζονται στις φυσικές και γνωστικές ικανότητες των εργαζομένων. Βάση έρευνας που έγινε στην Κίνα, Βραζιλία και Γερμανία φαίνεται ξεκάθαρα πως σταδιακά μειώνονται οι απαιτήσεις προσωπικού στο κλάδο της κατασκευής και της συναρμολόγησης, με τον μόνο τομέα αυτόν της ανάπτυξης να παρουσιάζει συνεχή άνοδο.



*Εικόνα 20: Φαίνονται με την μορφή ποσοστών ,από την πράσινη πλευρά η ζήτηση εργαζομένων και από την κίτρινη πλευρά η μείωση της ζήτησης των εργαζομένων στο τομέα της ανάπτυξης ,της κατασκευής και της συναρμολόγησης αντίστοιχα. [65]*

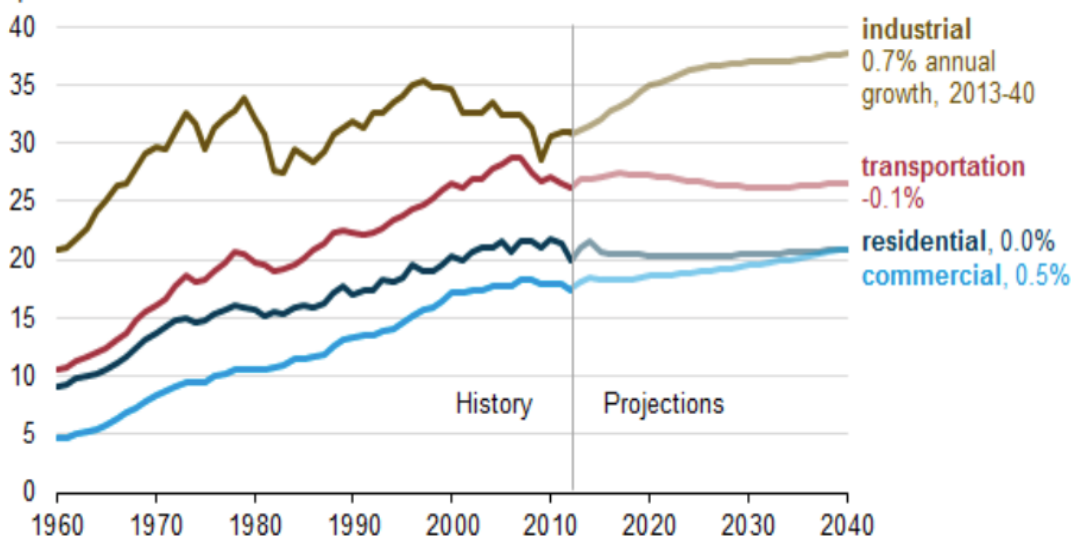
Η τεχνογνωσία και τα κίνητρα των εργαζομένων πρέπει να ενισχυθούν για να προωθηθεί η ασφαλής συνεργασία μεταξύ των εργαζομένων και των μηχανών σε όλα τα στάδια της βιομηχανίας. Ο σχεδιασμός και η διαμόρφωση των νέων περιβαλλόντων εργασίας πρέπει να παραμένει επικεντρωμένος στον άνθρωπο, στην ασφάλεια και την άνεσή του.

Οι πρωτοβουλίες για την ενσωμάτωση της επαγγελματικής υγείας και ασφάλειας πρέπει να συνδυάζουν εξ αρχής την εικονική ανάλυση εργασιών, τη δυναμική αξιολόγηση των επαγγελματικών κινδύνων, τη γνωστική ανάλυση του φόρτου εργασίας και τα εργαλεία διαχείρισης δεξιοτήτων. Πρέπει να αναπτυχθούν προσαρμοστικές διεπαφές και αισθητήρες συναισθημάτων για τη συνεχή παρακολούθηση των εργαζομένων και τη διασφάλιση της ασφάλειάς τους. Η μοντελοποίηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς, των προθέσεων και των αντιδράσεων στο στρες, τις δυσκολίες και την αβεβαιότητα είναι επίσης απαραίτητη.

Συνολικά, η διεπιστημονική έρευνα είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτίωση της ενσωμάτωσης της ανθρώπινης εργασίας με τον ευφυή εξοπλισμό στο χώρο εργασίας. Με την αντιμετώπιση των αναδυόμενων επαγγελματικών κινδύνων, την επικαιροποίηση των προτύπων και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, θα μπορούσε ο χώρος εργασίας να γίνει ασφαλέστερος και πιο άνετος για τους εργαζόμενους. Είναι επίσης σημαντικό να δοθεί προτεραιότητα στις φυσικές και γνωστικές ικανότητες των εργαζομένων, να προωθηθεί η ασφαλής συνεργασία μεταξύ των ανθρώπων και των νέων μηχανημάτων, καθώς και να προστατευθεί η μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση σε καταγεγραμμένα δεδομένα και πληροφορίες που κυκλοφορούν σε ένα σύστημα παραγωγής. Λαμβάνοντας αυτά τα μέτρα, μπορούμε να εργαστούμε προς ένα μέλλον όπου η ενσωμάτωση του ευφυούς εξοπλισμού και της ανθρώπινης εργασίας θα είναι ασφαλής, αποτελεσματική και παραγωγική για όλους.[66]

Ένα εξίσου σημαντικό θέμα που προκύπτει από την εφαρμογή της Βιομηχανίας 4.0 είναι αυτό της βιωσιμότητας, καθώς η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται όλο και περισσότερο. Οι τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0 βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στα κέντρα δεδομένων και το υπολογιστικό cloud, τα οποία καταναλώνουν σημαντική ποσότητα ενέργειας. Η χρήση αισθητήρων, αυτοματισμών και προηγμένης ανάλυσης στα έξυπνα εργοστάσια συμβάλλει επίσης στην αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται πώς η βιομηχανία είναι αυτή που έχει σταθερά αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας.

Total energy consumption by end-use sector, 1960-2040  
quadrillion Btu

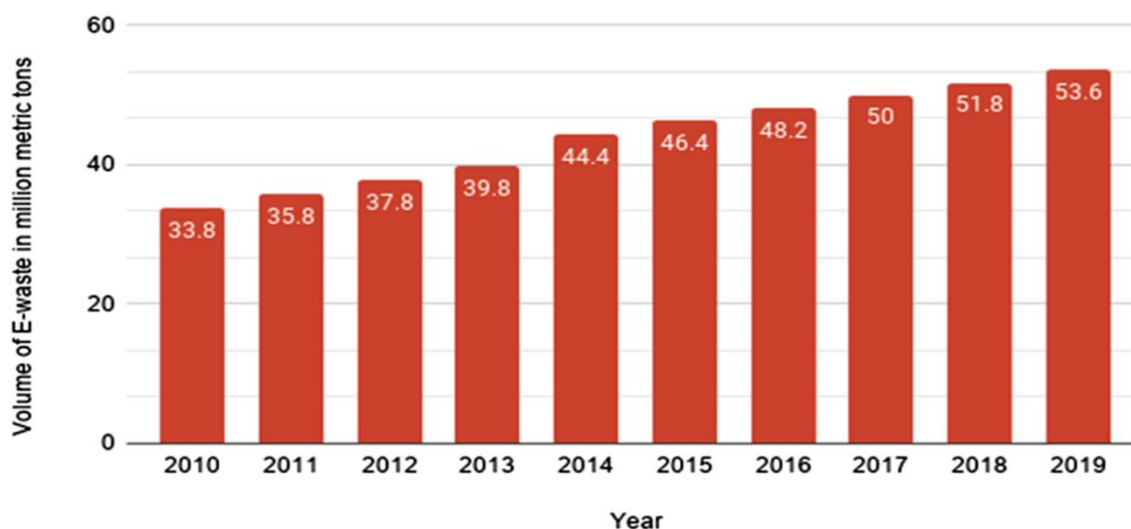


Source: U.S. Energy Information Administration, *Annual Energy Outlook 2015* (interactive table viewer)

Εικόνα 21: Γράφημα που δείχνει την πορεία της χρήσης ενέργειας στην βιομηχανία, τις μεταφορές, την οικιακή χρήση και την εμπορική χρήση, από το 1960 μέχρι το 2040.[67]

Η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας επιδεινώνει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, οι οποίες με την σειρά τους επιδεινώνουν την κλιματική αλλαγή. Ο τομέας της μεταποίησης συμβάλλει ήδη σημαντικά στις παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και η συνεχώς αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας που συνδέεται με τις τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0 επιτείνει το πρόβλημα ακόμη περισσότερο.

Ένα άλλο μειονέκτημα βιωσιμότητας της Βιομηχανίας 4.0 είναι η αύξηση των ηλεκτρονικών αποβλήτων, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Οι τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0 απαιτούν μεγάλο αριθμό ηλεκτρονικών συσκευών, όπως αισθητήρες, ελεγκτές και υπολογιστές. Καθώς οι συσκευές αυτές παλιώνουν ή δυσλειτουργούν, συχνά απορρίπτονται, οδηγώντας σε αύξηση των ηλεκτρονικών αποβλήτων.



*Εικόνα 22: Γράφημα που αναπαριστά τους τόνους σε εκατομμύρια των καταγεγραμμένων ηλεκτρονικών αποβλήτων τα τελευταία χρόνια.[68]*

Αυτά τα ηλεκτρονικά απόβλητα περιέχουν επικίνδυνα υλικά όπως μόλυβδος, κάδμιο και υδράργυρος. Η διάθεση των ηλεκτρονικών αποβλήτων αποτελεί επίσης σημαντική πρόκληση, καθώς απαιτεί εξειδικευμένες εγκαταστάσεις και διαδικασίες για την αποφυγή της μόλυνσης και τη διασφάλιση της ορθής διαχείρισής τους.

Για τον μετριασμό αυτών των μειονεκτημάτων βιωσιμότητας, είναι ζωτικής σημασίας η υιοθέτηση μιας νέας προσέγγισης για την εφαρμογή και τη χρήση των τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0. Είναι επίσης σημαντικό να εφαρμοστούν υπεύθυνες πρακτικές διαχείρισης ηλεκτρονικών αποβλήτων, όπως η επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση και η ορθή απόρριψη των ηλεκτρονικών συσκευών.

Η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας και τα ηλεκτρονικά απόβλητα που συνδέονται με τις τεχνολογίες Βιομηχανίας 4.0 συμβάλλουν στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος και αποτελούν επίσης απειλή για την ανθρώπινη υγεία. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να υιοθετηθεί μια νέα πιο βιώσιμη προσέγγιση για την εφαρμογή και τη χρήση των τεχνολογιών αυτών, ώστε να διασφαλιστεί ότι συμβάλλουν σε ένα βιώσιμο μέλλον.

Ως αποτέλεσμα των παραπάνω μια προσέγγιση με αποκλειστικό γνώμονα το κέρδος είναι όλο και πιο δύσκολο να διατηρηθεί. Σε έναν κόσμο όπου κυριαρχεί η παγκοσμιοποίηση, η στενή εστίαση στο κέρδος αποτυγχάνει να λάβει υπόψη το πλήρες περιβαλλοντικό και κοινωνικό κόστος και όφελος. Προκειμένου η βιομηχανία να προάγει πραγματικά την ευημερία, ο σκοπός της πρέπει να περιλαμβάνει κοινωνικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές εκτιμήσεις. Αυτό περιλαμβάνει την υπεύθυνη καινοτομία, η οποία δεν επικεντρώνεται αποκλειστικά στην αύξηση της αποδοτικότητας του κόστους ή στη μεγιστοποίηση του κέρδους, αλλά και στην προώθηση της ευημερίας για όλα τα εμπλεκόμενα μέρη που την απαρτίζουν, συμπεριλαμβανομένων τόσο των επενδυτών, όσο και των εργαζομένων, των καταναλωτών, της κοινωνίας και του ίδιου του περιβάλλοντος.

### 3. Βιομηχανία 5.0

Από το έτος 2017 και μετά, σε διάφορα μέρη γίνονται διάφορες ακαδημαϊκές προσπάθειες με στόχο την καθιέρωση αυτού που ονομάζεται πέμπτη βιομηχανική επανάσταση η αλλιώς Βιομηχανία 5.0. Η έννοια αυτή συζητήθηκε περαιτέρω σε δύο εικονικά εργαστήρια που διοργάνωσε η Διεύθυνση "Ευημερία" της Γενικής Διεύθυνσης Έρευνας και Καινοτομίας, στα οποία συμμετείχαν συμμετέχοντες από διάφορους ερευνητικούς και τεχνολογικούς οργανισμούς, καθώς και φορείς χρηματοδότησης σε ολόκληρη την Ευρώπη. Ως αποτέλεσμα αυτών των συζητήσεων, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ζήτησε επίσημα την εφαρμογή της Βιομηχανίας 5.0 το 2021. Αυτό σηματοδοτήθηκε με τη δημοσίευση ενός εγγράφου με τίτλο

"Industry 5.0: Προς μια βιώσιμη, ανθρωποκεντρική και ανθεκτική ευρωπαϊκή βιομηχανία" στις 4 Ιανουαρίου 2021. Η κίνηση αυτή είναι παρόμοια με αυτή που έκανε η γερμανική κυβέρνηση το 2011, όταν εισήγαγε τη Βιομηχανία 4.0 ως απάντηση στο μεταβαλλόμενο κοινωνικό και γεωπολιτικό τοπίο. [69]

Στο παρελθόν, η βιομηχανία επικεντρώθηκε στη χρήση αναδυόμενων τεχνολογιών για την αύξηση της αποδοτικότητας. Ωστόσο, η ανθρωποκεντρική προσέγγιση της βιομηχανίας θέτει τις ανθρώπινες ανάγκες και τα συμφέροντα στο επίκεντρο της παραγωγικής διαδικασίας. Αντί η ερώτηση να είναι τι παραπάνω μπορεί να κερδηθεί με τη χρήση της νέας τεχνολογίας, η ερώτηση θα πρέπει να είναι τι μπορεί να κάνει η νέα τεχνολογία για να διευκολύνει το κοινωνικό σύνολο και το περιβάλλον. Η προσέγγιση αυτή περιλαμβάνει την προσαρμογή της παραγωγικής διαδικασίας στις ανάγκες του εργαζόμενου, αντί να ζητάτε από τον εργαζόμενο να προσαρμοστεί στις ανάγκες της ταχέως εξελισσόμενης τεχνολογίας. Σημασία έχει επίσης να διασφαλιστεί ότι η χρήση των νέων τεχνολογιών δεν παραβιάζει τα θεμελιώδη δικαιώματα των εργαζομένων, όπως το δικαίωμα στην ιδιωτική ζωή, την αυτονομία και την ανθρώπινη αξιοπρέπεια.

Για να είναι βιώσιμη η βιομηχανία, πρέπει να σέβεται τα πλανητικά όρια. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να αναπτύσσονται κυκλικές διαδικασίες που επαναχρησιμοποιούν, μεταποιούν και ανακυκλώνουν τους φυσικούς πόρους. Επίσης σημαντική είναι και η αποφυγή της χρήσης μεγαλύτερων ποσοτήτων πρώτων υλών όπου δεν χρειάζονται πραγματικά. Έτσι επιτυγχάνεται η μείωση των αποβλήτων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η βιωσιμότητα περιλαμβάνει επίσης τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ώστε να αποφεύγεται η εξάντληση και η υποβάθμιση των φυσικών πόρων, αλλά και εξασφαλίζονται οι ανάγκες των σημερινών γενεών χωρίς να τίθενται σε κίνδυνο οι ανάγκες των μελλοντικών γενεών. Τεχνολογίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη και η προσθετική κατασκευή μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην επίτευξη της βιωσιμότητας, βελτιστοποιώντας την αποδοτικότητα των πόρων και ελαχιστοποιώντας τα απόβλητα.

Η ανθεκτικότητα είναι μια άλλη κρίσιμη πτυχή της βιομηχανίας που πρέπει να αντιμετωπιστεί. Για να είναι ανθεκτική, η βιομηχανική παραγωγή πρέπει να είναι πιο στιβαρή και καλύτερα εξοπλισμένη για να αντιμετωπίζει της διαταραχές. Η πανδημία Covid-19 και οι γεωπολιτικές αλλαγές έχουν αναδείξει την ευθραυστότητα της τρέχουσας προσέγγισής μας στην παγκοσμιοποιημένη παραγωγή. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, η βιομηχανία θα πρέπει να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη επαρκώς ανθεκτικών στρατηγικών αλυσίδων αξίας, προσαρμοστικής παραγωγικής ικανότητας και ευέλικτων επιχειρηματικών διαδικασιών, ιδίως σε βιομηχανίες που εξυπηρετούν βασικές ανθρώπινες ανάγκες, όπως η υγειονομική περίθαλψη ή η ασφάλεια.

Εν κατακλείδι, μια ανθρωποκεντρική προσέγγιση της βιομηχανίας είναι απαραίτητη για να διασφαλιστεί ότι η βιομηχανία σέβεται τα ανθρώπινα δικαιώματα και της βασικές ανάγκες. Η βιομηχανία πρέπει επίσης να δώσει προτεραιότητα στη βιωσιμότητα αναπτύσσοντας κυκλικές διαδικασίες και μειώνοντας τα απόβλητα και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η ανθεκτικότητα είναι ζωτικής σημασίας για να διασφαλιστεί ότι η βιομηχανική παραγωγή

μπορεί να αντέξει τις διαταραχές και να υποστηρίξει τις κρίσιμες υποδομές σε περιόδους κρίσης.[70]

### 3.1 Τεχνολογικές εξελίξεις της Βιομηχανίας 5.0

Η βιομηχανία 5.0 αντιπροσωπεύει μια αλλαγή κατεύθυνσης στη μεταποίηση, θέτοντας στο προσκήνιο την ανθρωποκεντρικότητα, τη βιωσιμότητα και την ανθεκτικότητα. Αυτή η αναδυόμενη προσέγγιση αποσκοπεί στη δημιουργία ενός συνεργατικού περιβάλλοντος όπου η τεχνολογία συμπληρώνει και ενδυναμώνει τους ανθρώπινους εργαζόμενους, αντί να τους αντικαθιστά. Οι στόχοι της Βιομηχανίας 5.0 περιλαμβάνουν την ενίσχυση της ευημερίας και των δεξιοτήτων των εργαζομένων, την προώθηση βιώσιμων πρακτικών παραγωγής και την οικοδόμηση ανθεκτικών συστημάτων παραγωγής.

Οι βασικές τεχνολογίες που προωθούν τη Βιομηχανία 5.0 περιλαμβάνουν την έξυπνη προσθετική κατασκευή (τρισεδιάστατη εκτύπωση), την ανάλυση μεγάλων δεδομένων, τα κυβερνώ-φυσικά συστήματα (CPS), την τεχνολογία blockchain, της επικοινωνίες 5G / 6G, την εκτεταμένη πραγματικότητα, την τεχνητή νοημοσύνη AI και την συνεργασία ανθρώπου μηχανής με την χρήση των cobot.





*Εικόνα 23: Ένα διάγραμμα που στο κέντρο έχει τους στόχους της βιομηχανίας 5.0 και περιμετρικά τις τεχνολογίες στις οποίες επικεντρώνεται.[71]*

### 3.1.1 Έξυπνη Προσθετική Κατασκευή

Η βιώσιμη παραγωγή είναι σήμερα η πιο δημοφιλής οικονομικά αποδοτική προσέγγιση για τις μεταποιητικές βιομηχανίες. Υποστηρίζει τους παραγωγούς στην εκτέλεση αναπτυξιακών σχεδίων, μειώνοντας τη ρύπανση και τη χρήση των πόρων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ανάπτυξης. Η προσθετική κατασκευή είναι η βιώσιμη προσέγγιση που υιοθετείται για τη βιομηχανική παραγωγή, η οποία κατασκευάζει το τμήμα του προϊόντος στρώμα προς στρώμα αντί για τη χρήση ενός συμπαγούς μπλοκ, με αποτέλεσμα την παραγωγή ελαφρύτερων αλλά πιο ανθεκτικών εξαρτημάτων. Η έξυπνη προσθετική κατασκευή, αποτελεί την εξέλιξη της AM που μελετήθηκε παραπάνω, χρησιμοποιώντας αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης και όραση υπολογιστή για την ενίσχυση της ακρίβειας και την καλύτερη γραφική αναπαράσταση του σχεδιασμού του προϊόντος στην τρισδιάστατη εκτύπωση. Ένα νέο υποσύνολο της προσθετικής κατασκευής, η εκτύπωση 5D, χρησιμοποιείται πλέον για καλύτερες συνθέσεις.

Πρόσφατες επιχειρήσεις και ερευνητές επικεντρώνονται στην ανάπτυξη προϊόντων έξυπνης κατασκευής στον ερευνητικό και βιομηχανικό τομέα. Η πρόοδος των τεχνολογιών, όπως η AI, το IoT, το Cloud computing, τα Big Data, τα CPS, το 5G, το DT, το EC και η κατασκευή, έχει ενισχύσει την ανάπτυξη έξυπνων ενδυναμωτικών τεχνολογιών, οι οποίες γίνονται όλο ένα και πιο δημοφιλείς. Τα κύρια πλεονεκτήματα της έξυπνης βιομηχανικής κατασκευής είναι η βιωσιμότητα, η κερδοφορία και η παραγωγικότητα. Την τελευταία δεκαετία, η έξυπνη προσθετική κατασκευή (SAM) έχει γίνει μια αναδυόμενη τεχνολογία στον τομέα της έξυπνης κατασκευής. Η προσθετική κατασκευή, γνωστή και ως τρισδιάστατη εκτύπωση, είναι ένα από τα εξέχοντα χαρακτηριστικά της Βιομηχανίας 5.0, η οποία εφαρμόζεται για να καταστήσει τα προϊόντα κατασκευής πιο βιώσιμα. Στη Βιομηχανία 4.0, η προσθετική κατασκευή επικεντρώθηκε στην ικανοποίηση των πελατών, περιλαμβάνοντας οφέλη στα προϊόντα και άλλες υπηρεσίες. Διευκόλυνε επίσης τη διαφάνεια, την διαλειτουργικότητα, την αυτοματοποίηση και τις εφαρμόσιμες γνώσεις. Η SAM περιλαμβάνει την ανάπτυξη εξαρτημάτων με την προσθήκη υλικών σε διάφορα στρώματα, εξοικονομώντας έτσι ενεργειακούς πόρους, μειώνοντας την κατανάλωση υλικών και πόρων και οδηγώντας σε παραγωγή χωρίς ρύπανση του περιβάλλοντος. [72]

Η έξυπνη προσθετική κατασκευή (AM) μπορεί να γίνει πιο βιώσιμη μέσω της υιοθέτησης διαφόρων στρατηγικών. Μερικοί από αυτούς είναι:

1. Χρήση βιώσιμων υλικών: Μια προσέγγιση είναι η χρήση βιώσιμων και φιλικών προς το περιβάλλον υλικών για την έξυπνη AM, όπως ανακυκλωμένα πλαστικά, υλικά βιολογικής προέλευσης ή υλικά που προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές. Η χρήση τέτοιων υλικών μειώνει τα απόβλητα, εξοικονομεί φυσικούς πόρους και ελαχιστοποιεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κατασκευής.



2. Ενεργειακή απόδοση: Ένας άλλος τρόπος για να γίνει η έξυπνη AM πιο βιώσιμη είναι η υιοθέτηση ενεργειακά αποδοτικών διαδικασιών κατασκευής. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή ή η αιολική ενέργεια, ή με τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης του εξοπλισμού SAM.
3. Ελαχιστοποίηση των αποβλήτων: Η SAM μπορεί επίσης να γίνει πιο βιώσιμη με την ελαχιστοποίηση της ποσότητας των αποβλήτων που παράγονται κατά τη διαδικασία κατασκευής. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση εργαλείων βελτιστοποίησης του σχεδιασμού για τη μείωση της ποσότητας των υλικών που απαιτούνται για την παραγωγή ή με τη χρήση στρατηγικών ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης για την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων.
4. Αξιολόγηση του κύκλου ζωής: Είναι σημαντικό να πραγματοποιείται αξιολόγηση του κύκλου ζωής των προϊόντων SAM για την κατανόηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους. Αυτό βοηθά στον εντοπισμό των τομέων στους οποίους μπορούν να γίνουν βελτιώσεις για τη μείωση των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προϊόντων SAM. [73]
5. Βελτιστοποίηση των διαδικασιών κατασκευής: Η έξυπνη AM μπορεί να γίνει πιο βιώσιμη με τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών κατασκευής για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και πόρων, την ελαχιστοποίηση της παραγωγής αποβλήτων και τη βελτίωση της αποδοτικότητας της διαδικασίας κατασκευής.
6. Έξυπνος αυτοματισμός: Οι τεχνολογίες έξυπνου αυτοματισμού, όπως η ρομποτική και η τεχνητή νοημοσύνη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών κατασκευής, τη μείωση των σφαλμάτων και την ελαχιστοποίηση της παραγωγής αποβλήτων. Αυτό όχι μόνο καθιστά τη διαδικασία κατασκευής πιο αποτελεσματική, αλλά και μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της διαδικασίας κατασκευής.

Συνολικά, το κλειδί για να καταστεί η έξυπνη AM πιο βιώσιμη είναι η υιοθέτηση μιας γενικότερης προσέγγισης που λαμβάνει υπόψη ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος, από την επιλογή των υλικών έως τη διάθεση στο τέλος του κύκλου ζωής. Αυτό απαιτεί μια συνεργατική προσπάθεια μεταξύ κατασκευαστών, σχεδιαστών και φορέων χάραξης πολιτικής για να διασφαλιστεί ότι η SAM χρησιμοποιείται με τρόπο που προωθεί τη βιωσιμότητα.

### 3.1.2 Blockchain - Αλυσίδα μπλοκ

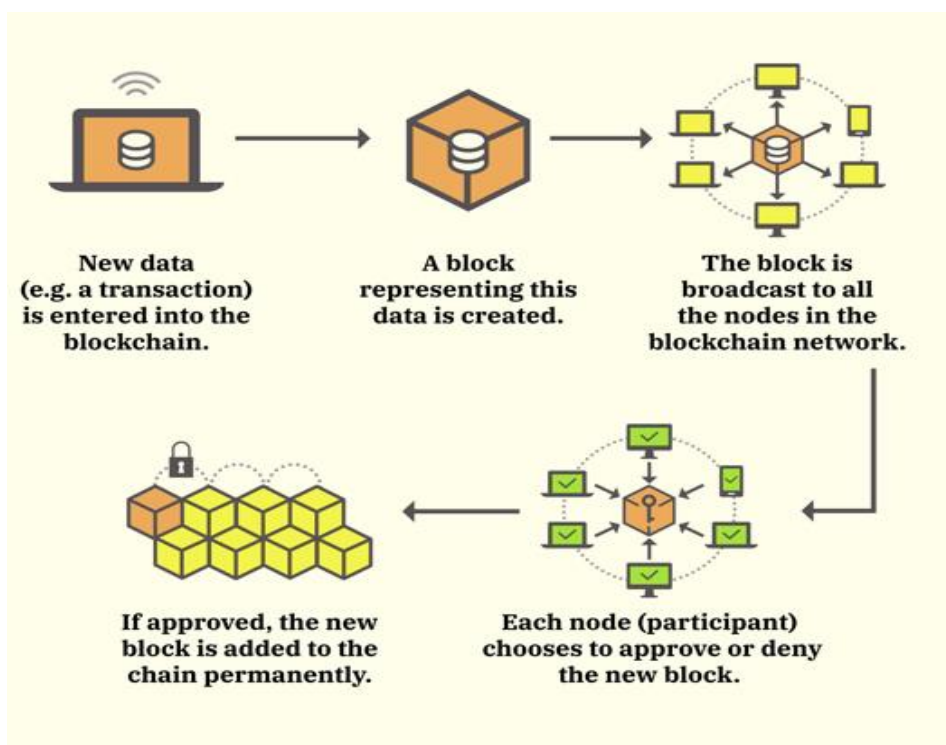
Η αλυσίδα μπλοκ είναι μια ασφαλής μέθοδος αποθήκευσης και καταγραφής πληροφοριών με τρόπο που καθιστά εξαιρετικά δύσκολη ή ακόμα και αδύνατη την αλλοίωση, την παραβίαση ή τη χειραγώγηση του συστήματος. Λειτουργεί ως ένα αποκεντρωμένο και κατανομημένο σύστημα, όπου οι συναλλαγές αναπαράγονται και διανέμονται σε ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων υπολογιστών. Αυτό το δίκτυο, που αποτελείται από ομότιμους κόμβους, αποθηκεύει τα αρχεία συναλλαγών, γνωστά και ως μπλοκ, σε πολλαπλές βάσεις δεδομένων

που αναφέρονται ως "αλυσίδα". Οι αποθηκευμένες πληροφορίες σχηματίζουν ένα ψηφιακό σύστημα που είναι ανθεκτικό στην παραποίηση. [74]

Κάθε φορά που πραγματοποιείται μια συναλλαγή, τεκμηριώνεται ως ένα μπλοκ δεδομένων που περιέχει σχετικές πληροφορίες. Οι συναλλαγές αυτές αντιπροσωπεύουν τη μεταβίβαση διαφορών στοιχείων, τα οποία μπορεί να είναι υλικά αγαθά ή στοιχεία όπως η πνευματική ιδιοκτησία. Το μπλοκ δεδομένων μπορεί να καταγράφει διάφορες λεπτομέρειες, όπως ποιος ξεκίνησε τη συναλλαγή, τι ανταλλάχθηκε, πότε και πού συνέβη, την ποσότητα που εμπλέκεται, ακόμη και συγκεκριμένες συνθήκες, όπως η θερμοκρασία μιας ευπαθούς αποστολής.

Κάθε μπλοκ δεδομένων συνδέεται με τα προηγούμενα και τα επόμενα μπλοκ, δημιουργώντας μια αλυσίδα διασυνδεδεμένων δεδομένων. Αυτή η αλυσίδα παρακολουθεί τη διαδρομή ενός συγκεκριμένου στοιχείου καθώς αυτό μετακινείται μεταξύ τοποθεσιών. Συνδέοντας τα μπλοκ με συγκεκριμένη σειρά, η αλυσίδα δημιουργεί ένα ακριβές χρονοδιάγραμμα και μια αλληλουχία συναλλαγών. Επιπλέον, ο μηχανισμός διασύνδεσης εξασφαλίζει την ασφάλεια της αλυσίδας, αποτρέποντας έτσι τις μη εξουσιοδοτημένες τροποποιήσεις στα υπάρχοντα μπλοκ ή την εισαγωγή νέων μπλοκ στο ενδιάμεσο δυο ήδη υπάρχοντων.

Καθώς οι συναλλαγές ομαδοποιούνται, σχηματίζουν μια μη αναστρέψιμη και αμετάβλητη αλυσίδα, γνωστή ως αλυσίδα μπλοκ. Με κάθε πρόσθετο μπλοκ, η επαλήθευση των προηγούμενων μπλοκ και ολόκληρης της αλυσίδας μπλοκ γίνεται ισχυρότερη. Αυτό το χαρακτηριστικό παρέχει ιδιότητες που δεν επιδέχονται αλλοίωση, καθιστώντας εξαιρετικά δύσκολο για τους κακόβουλους φορείς να τροποποιήσουν τις καταγεγραμμένες πληροφορίες. Κατά συνέπεια, η αλυσίδα μπλοκ χρησιμεύει ως διαφανές βιβλίο συναλλαγών που δημιουργεί εμπιστοσύνη μεταξύ των συμμετεχόντων στο δίκτυο.[75]



*Εικόνα 24: Αρχικά φαίνονται τα νέα δεδομένα που εισέρχονται, στην συνέχεια σχηματίζεται το μπλοκ που αναπαριστά αυτά τα δεδομένα, το μπλοκ στέλνει σήμα και αφού γίνει η επαλήθευση δημιουργείται το τελικό blockchain. [76]*

### 3.1.2.1. Εφαρμογή Blockchain στο Βιομηχανικό Δίκτυο των Πραγμάτων

Από την άλλη, η χρήση των δικτύων του Βιομηχανικού Διαδικτύου των Πραγμάτων (IIoT), με βάση μια ανθεκτική στρατηγική παραγωγής, είναι μεγάλης σημασίας για τη διευκόλυνση της ανάκαμψης της παραγωγής και της αλυσίδας εφοδιασμού. Τα δίκτυα αυτά αποτελούνται από δισεκατομμύρια συσκευές που παράγουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων, οι οποίες συχνά περιέχουν ευαίσθητες πληροφορίες σχετικά με ανθρώπους και μηχανές, δημιουργώντας δυνητικούς κινδύνους για την ασφάλεια, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Τα περισσότερα σύγχρονα συστήματα IIoT βασίζονται σε κεντρικές αρχιτεκτονικές, απαιτώντας από τους χρήστες να εμπιστευτούν την ασφάλεια αυτών των υπηρεσιών για την επεξεργασία και την αποθήκευση δεδομένων. Τα δεδομένα που παράγονται από τον εξοπλισμό συνήθως συλλέγονται και αποστέλλονται σε ένα κεντρικό κέντρο υπολογιστικού cloud για εντατική ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων.

Η απουσία ασφαλούς λύσης ενδιάμεσου λογισμικού με δυνατότητες επεξεργασίας και αποθήκευσης προσθέτει πολυπλοκότητα στα βιομηχανικά δίκτυα των πραγμάτων. Κατά συνέπεια, οι ερευνητές διερευνούν νέες μεθόδους για την αντιμετώπιση διαφόρων προβλημάτων ασφάλειας που παρουσιάζονται μέσω της χρήσης του IIoT, όπως η ακεραιότητα, η συνέπεια και η διαθεσιμότητα. Ωστόσο, υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με την ακατάλληλη χρήση ή τη μη εξουσιοδοτημένη αποκάλυψη των πληροφοριών. Επιπλέον, τα συγκεντρωτικά συστήματα μπορεί να εμποδίζουν την επεκτασιμότητα και την ευρωστία, καθώς μια αστοχία ενός σημείου μπορεί να διαταράξει ολόκληρο το σύστημα IIoT, γεγονός που δεν ευνοεί την επίτευξη του οράματος της ανθεκτικής παραγωγής στη βιομηχανία 5.0.

Για την ενίσχυση της ασφάλειας και της αξιοπιστίας των σημερινών συστημάτων IIoT, οι τεχνικές, με αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική, προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα. Ειδικότερα, η αλυσίδα μπλοκ (blockchain) διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην ενεργοποίηση της μακροπρόθεσμης επέκτασης των δικτύων IIoT και στην αντιμετώπιση των προβλημάτων αξιοπιστίας, δια λειτουργικότητας και ασφάλειας. Η αλυσίδα μπλοκ είναι ικανή να διατηρεί την ακεραιότητα και την αυθεντικότητα των δεδομένων μέσω της αλυσίδας. Παρέχει αποκεντρωμένες διαδικασίες που επιτρέπουν στις βιομηχανικές διαδικασίες και οντότητες να καταχωρούν και να επαληθεύουν τα προϊόντα και τις υπηρεσίες τους στο πλαίσιο της ολοκλήρωσης της αλυσίδας μπλοκ και του IIoT.

Με αυτόν τον τρόπο, η εφαρμογή ενδιάμεσου λογισμικού blockchain για το αποκεντρωμένο IIoT μπορεί να παρέχει ασφαλείς και αξιόπιστες υπηρεσίες για τις βιομηχανίες για τόσο για την αποθήκευση όσο και την ανταλλαγή δεδομένων. Το blockchain middleware προσφέρει λογισμικό ή διεπαφές για διάφορες πλατφόρμες και εφαρμογές, διευκολύνοντας την επικοινωνία μεταξύ συσκευών και του δικτύου blockchain. Θωρακίζει τις υποκείμενες

πολυπλοκότητες της αλυσίδας μπλοκ και επιτρέπει στους προγραμματιστές με περιορισμένες γνώσεις αλυσίδας μπλοκ να επιτύχουν δια λειτουργικότητα μεταξύ των δεδομένων IIoT και του δικτύου αλυσίδας μπλοκ, καθώς και να αναπτύξουν έξυπνες συμβάσεις μέσω της διεπαφής API. Η προσέγγιση αυτή προωθεί την επεκτασιμότητα, την αξιοπιστία, τις δυνατότητες πραγματικού χρόνου, τη διαθεσιμότητα, την ασφάλεια και την ιδιωτικότητα σε αποκεντρωμένες εφαρμογές IIoT προς το όραμα της Βιομηχανίας 5.0 για μεγαλύτερη ανθεκτικότητα.[77]

### 3.1.3 Επικοινωνίες 5G - 6G

Ο πρωταρχικός στόχος της ασύρματης τεχνολογίας 5G είναι να παρέχει στους χρήστες υψηλότερες μέγιστες ταχύτητες δεδομένων της τάξης των πολλών Gbps, σημαντικά χαμηλότερη καθυστέρηση, βελτιωμένη αξιοπιστία, μεγαλύτερη χωρητικότητα δικτύου, αυξημένη διαθεσιμότητα και γενικότερα μια καλύτερη εμπειρία χρήσης. Παρέχοντας βελτιωμένες επιδόσεις και αποδοτικότητα, το 5G επιτρέπει νέες και προηγμένες εμπειρίες χρηστών, ενώ παράλληλα συνδέει βιομηχανίες που προηγουμένως δεν ήταν συνδεδεμένες.

Η τεχνολογία 5G εξυπηρετεί τρεις πρωταρχικούς τύπους συνδεδεμένων υπηρεσιών: βελτιωμένη κινητή υπηρεσία, επικοινωνίες κρίσιμης σημασίας και το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT). Ένα από τα καθοριστικά χαρακτηριστικά του 5G είναι η μελλοντική συμβατότητά του, που σημαίνει ότι έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει μελλοντικές υπηρεσίες που μπορεί να είναι προς το παρόν άγνωστες.

Όσον αφορά την ενισχυμένη κινητή ευρυζωνικότητα, το 5G υπερβαίνει τη βελτίωση των smartphones. Προκαλεί νέες καθηλωτικές εμπειρίες όπως η εικονική πραγματικότητα (VR) και η επαυξημένη πραγματικότητα (AR), παρέχοντας ταχύτερους και πιο συνεπείς ρυθμούς δεδομένων, μειωμένη καθυστέρηση και χαμηλότερο κόστος ανά bit. Με το 5G, οι χρήστες μπορούν να απολαμβάνουν απρόσκοπτη και υψηλής ποιότητας ροή πολυμέσων, παιχνίδια και διαδραστικές εφαρμογές.

Μια άλλη σημαντική εφαρμογή του 5G είναι οι επικοινωνίες κρίσιμης σημασίας. Ενδυναμώνει τις βιομηχανίες με εξαιρετικά αξιόπιστες, διαθέσιμες και χαμηλής καθυστέρησης συνδέσεις που μπορούν να μεταμορφώσουν τις λειτουργίες τους. Αυτό περιλαμβάνει δυνατότητες όπως ο απομακρυσμένος έλεγχος κρίσιμων υποδομών, οχημάτων και ιατρικών διαδικασιών. Η αξιοπιστία και η ανταπόκριση των δικτύων επικοινωνίας 5G είναι ζωτικής σημασίας για εφαρμογές όπου ακόμη και μια μικρή καθυστέρηση ή διακοπή θα μπορούσε να έχει σοβαρές συνέπειες.

Επιπλέον, η τεχνολογία 5G διευκολύνει το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) συνδέοντας ένα εκτεταμένο δίκτυο ενσωματωμένων αισθητήρων σε διάφορες συσκευές και αντικείμενα. Η επεκτασιμότητά της επιτρέπει αποτελεσματικές και οικονομικά αποδοτικές λύσεις συνδεσιμότητας, με δυνατότητα προσαρμογής των ρυθμών δεδομένων, της κατανάλωσης ενέργειας και της κινητικότητας ανάλογα με τις ειδικές απαιτήσεις των συσκευών IoT. Αυτό ανοίγει δυνατότητες για έξυπνα σπίτια, έξυπνες πόλεις, βιομηχανικό αυτοματισμό και άλλες

εφαρμογές όπου ένας μεγάλος αριθμός αισθητήρων πρέπει να επικοινωνεί απρόσκοπτα. [79]

Ωστόσο, με τις εξελισσόμενες ανάγκες της κοινωνίας, υπάρχει ένας αυξανόμενος αριθμός αναπτυσσόμενων περιπτώσεων χρήσης που δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν επαρκώς μόνο από το 5G. Ένα παράδειγμα είναι η επόμενη γενιά VAR, συγκεκριμένα η ολογραφική τηλεμεταφορά, απαιτεί ρυθμούς δεδομένων στην περιοχή των terabits ανά δευτερόλεπτο (Tbps) και καθυστέρηση σε επίπεδο μικρό δευτερολέπτων. Ακόμη και με τη χρήση των ζωνών συχνοτήτων χιλιοστών κυμάτων (mmWave) στο πλαίσιο του 5G, η επίτευξη τέτοιων απαιτήσεων δεν είναι εφικτή.

Η εξερεύνηση των επικοινωνιών της ζώνης terahertz υπόσχεται πολλά για το μέλλον της ασύρματης επικοινωνίας. Καθώς γίνονται προσπάθειες για την αντιμετώπιση των προκλήσεων και για την ικανοποίηση των εξελισσόμενων κοινωνικών αναγκών, οι εν λόγω ερευνητικοί τομείς αναμένεται να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της επόμενης γενιάς ασύρματων συστημάτων, γνωστά ως 6G. Το όραμά μας για τα 6G περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός έξυπνου, αξιόπιστου, κλιμακούμενου και ασφαλούς επίγειου ασύρματου δικτύου, το οποίο θα συμπληρώνεται από διαστημικές επικοινωνίες, ώστε να επιτευχθεί η συνεχής και ανεξαρτήτων τύπου ασύρματη συνδεσιμότητα.

Για την κατανόηση της έκτασης των συστημάτων 6G, είναι χαρακτηριστικοί οι βασικοί δείκτες απόδοσης (KPIs) που θα χρησιμεύσουν ως θεμελιώδεις μετρήσεις για την αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος. Ενώ οι επίσημες συστάσεις για αυτούς τους KPIs αναπτύσσονται από τον τομέα τυποποίησης τηλεπικοινωνιών της ITU (ITU-T), έχουν πρόσφατα αναδειχθεί δημοσίως κάποιες άτυπες δοκιμαστικές τιμές, που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

KPI	5G	6G	Μονάδα Μέτρησης
<i>ΧΩΡΙΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΙΚΤΥΟΥ</i>			
Μέγιστος Ρυθμός Μετάδοσης Δεδομένων	20	1000	Gbps
Πεπειραμένο Ποσοστό Δεδομένων	0.1	1	Gbps
Μέγιστη Φασματική Απόδοση	30	60	b/s/Hz
Πεπειραμένη Φασματική Απόδοση	0.3	3	b/s/Hz
Μέγιστο Εύρος Ζώνης Συχνοτήτων	1	100	GHz
Μεταφορική Ικανότητα Περιοχής	10	1000	Mbps / m <sup>2</sup>
Πυκνότητα Σύνδεσης	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	Συσκευή/ km <sup>2</sup>
<i>ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ</i>			
Διακύμανση από άκρο σε άκρο	1	0.1	ms
Καθυστέρηση Jitter	-	0.001	ms

ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ			
Απόδοση Ενέργειας	-	1	Tb/J
Αξιοπιστία	$10^{-6}$	$10^{-9}$	Packet Error Rate
Ταχύτητα	500	1000	km/h

Πίνακας 3: Σύγκριση των δικτύων 5G και 6G.

Χωρητικότητα συστήματος: Αυτή η κατηγορία επικεντρώνεται σε μετρικές που σχετίζονται με την απόδοση του συστήματος. Ειδικότερα, το πεπερασμένο ποσοστό δεδομένων και η φασματική απόδοση στοχεύουν στην εξασφάλιση συγκεκριμένων τιμών στο 95% των πιθανών θέσεων των χρηστών.

Καθυστέρηση συστήματος: Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τη διακύμανση της καθυστέρησης από άκρο σε άκρο, μαζί με την προσθήκη ενός νέου KPI, αυτού της καθυστέρησης jitter, ο οποίος ποσοτικοποιεί τις διακυμάνσεις της καθυστέρησης εντός του συστήματος. Η καθυστέρηση jitter απουσιάζει από τους KPI που ορίζονται για το 5G.

Διαχείριση συστήματος: Αυτή η κατηγορία καλύπτει μετρήσεις που σχετίζονται με τη διαχείριση του δικτύου, συμπεριλαμβανομένης της ενεργειακής απόδοσης, της αξιοπιστίας και της κινητικότητας. Αξίζει να σημειωθεί ότι, ενώ το 5G δεν καθορίζει στόχο KPI για την ενεργειακή απόδοση, το 6G εισάγει συγκεκριμένο στόχο 1 Tb/J για την ενεργειακή απόδοση.[78]

Η αξιοποίηση της 6G και των μελλοντικών τεχνολογιών στην επανάσταση της Βιομηχανίας 5.0 επιτρέπει την παροχή βελτιωμένης διακύμανσης σήματος, υπηρεσιών υψηλής ποιότητας, εκτεταμένων υποδομών IoT και ολοκληρωμένων δυνατοτήτων τεχνητής νοημοσύνης. Στο πλαίσιο των εφαρμογών της Βιομηχανίας 5.0, τα δίκτυα 6G διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην αποδοτική και αποτελεσματική ενίσχυση της απόδοσης των εφαρμογών μέσω της ευφυούς διαχείρισης του φάσματος, της υπολογιστικής κινητής ακμής με τεχνολογία AI και της έξυπνης κινητικότητας. Αυτά τα δίκτυα αναμένεται να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις μιας ευφυούς κοινωνίας της πληροφορίας για τη Βιομηχανία 5.0, παρέχοντας εξαιρετικά υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση, εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία, υψηλή ενεργειακή απόδοση και υψηλή χωρητικότητα κίνησης.

Ωστόσο, η διαχείριση της κινητικότητας και της παράδοσης θέτει σημαντικές προκλήσεις για τα δίκτυα 6G στη Βιομηχανία 5.0, καθώς είναι μεγάλης κλίμακας, εξαιρετικά δυναμικά και περιλαμβάνουν δίκτυα πολλαπλών επιπέδων με συχνές μεταβιβάσεις. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, μπορούν να συνδυαστούν με εφαρμογές τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης για την πρόβλεψη της βέλτιστης κινητικότητας και την παροχή αποτελεσματικών λύσεων μεταπομπής, εξασφαλίζοντας απρόσκοπτη συνδεσιμότητα και κάνοντας τα πιο ανθεκτικά. Ένα σημαντικό εμπόδιο στις εφαρμογές Industry 5.0 είναι η παροχή υψηλών ρυθμών δεδομένων για ποικίλες εφαρμογές. Το ζήτημα αυτό μπορεί να επιλυθεί με την ενσωμάτωση της κβαντικής επικοινωνίας και της οπτικής επικοινωνίας ελεύθερου χώρου στο 6G. Στη βιομηχανία 5.0, η σύνδεση πολυάριθμων έξυπνων συσκευών και η υπερβολική κατανάλωση ενέργειας καθιστούν τη διαχείριση της ενέργειας κρίσιμη

πρόκληση. Τα δίκτυα 6G αντιμετωπίζουν αυτή την πρόκληση μέσω προηγμένων στρατηγικών κατανάλωσης ενέργειας και μεθόδων συγκομιδής ενέργειας για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης ενέργειας. [80]

### 3.1.4 Εκτεταμένη πραγματικότητα

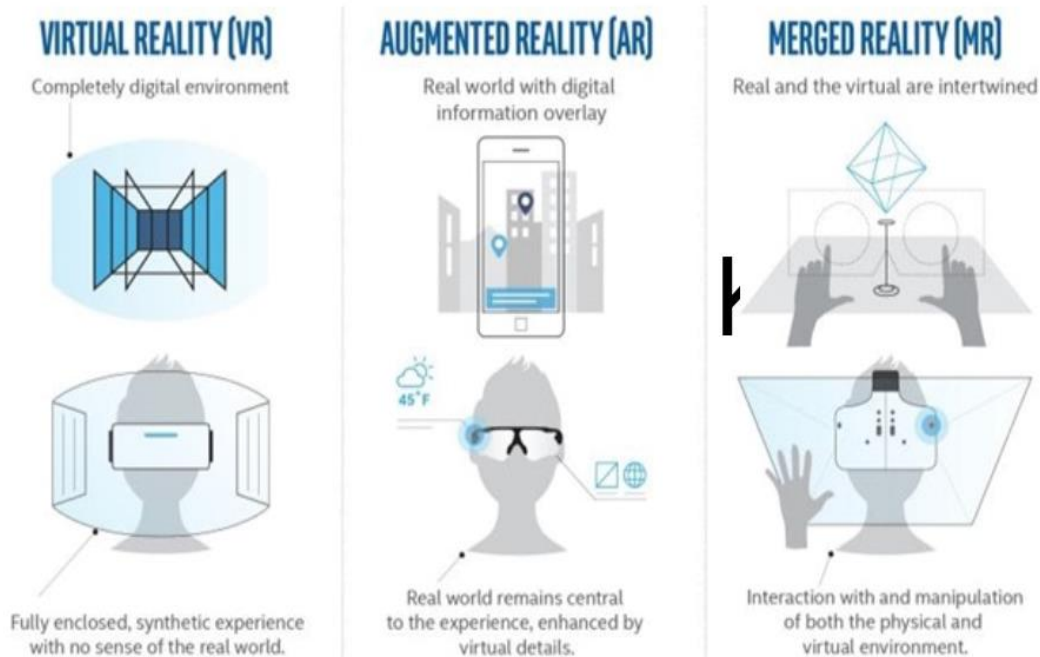
Η τεχνολογία XR (Extended Reality) περιλαμβάνει διάφορες μορφές όπως η εικονική πραγματικότητα (VR), η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) και η μικτή πραγματικότητα (MR), η καθεμία από τις οποίες προσφέρει μοναδικές εμπειρίες και δυνατότητες. Η VR, ως συστατικό στοιχείο της XR, επιτρέπει στους χρήστες να βυθίζονται πλήρως σε ένα προσομοιωμένο περιβάλλον φορώντας ένα εξειδικευμένο σετ κεφαλής. Αυτή η μετασχηματιστική τεχνολογία μεταφέρει τους χρήστες από το φυσικό τους περιβάλλον σε έναν εικονικό κόσμο, όπου μπορούν να αλληλοεπιδράσουν και να εμπλακούν με ψηφιακό περιεχόμενο.

Στη σφαίρα της εικονικής πραγματικότητας, οι χρήστες υφίστανται μια απρόσκοπτη μετάβαση από τη φυσική τους πραγματικότητα σε ένα εικονικό περιβάλλον που δημιουργείται από υπολογιστή. Αυτή η μετάβαση μπορεί να είναι στιγμιαία, όπου τη μια στιγμή στέκονται σε ένα φυσικό δωμάτιο και την επόμενη βρίσκονται εντελώς τυλιγμένοι σε έναν ψηφιακά δημιουργημένο χώρο.[82]

Η επαυξημένη πραγματικότητα (AR), όπως μελετήθηκε παραπάνω είναι η τεχνολογία που επικαλύπτει ψηφιακές πληροφορίες ή εικονικό περιεχόμενο στο πραγματικό περιβάλλον, ενισχύοντας την αντίληψη και την αλληλεπίδρασή μας με τον φυσικό κόσμο. Σε αντίθεση με την εικονική πραγματικότητα, η οποία βυθίζει τους χρήστες σε ένα πλήρως προσομοιωμένο περιβάλλον, η AR ενισχύει τον πραγματικό κόσμο προσθέτοντας εικονικά στοιχεία σε αυτόν.

Η μικτή πραγματικότητα (MR) είναι μια τεχνολογία που συνδυάζει στοιχεία τόσο της εικονικής όσο και της επαυξημένης πραγματικότητας (AR) για τη δημιουργία μιας υβριδικής εμπειρίας όπου το εικονικό και το πραγματικό περιεχόμενο συνυπάρχουν και αλληλοεπιδρούν σε πραγματικό χρόνο. Ξεπερνά την απλή επικάλυψη εικονικών αντικειμένων στον πραγματικό κόσμο (AR) ή την πλήρη βύθιση σε ένα εικονικό περιβάλλον (VR).

Στη μικτή πραγματικότητα, το ψηφιακό περιεχόμενο έχει χωρική επίγνωση και μπορεί να αλληλοεπιδράσει με το φυσικό περιβάλλον και τα αντικείμενα. Επιτρέπει στους χρήστες να βλέπουν και να χειρίζονται εικονικά αντικείμενα σαν να ήταν μέρος του πραγματικού κόσμου και το αντίστροφο. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω προηγμένων αισθητήρων, καμερών και συστημάτων παρακολούθησης που χαρτογραφούν με ακρίβεια και κατανοούν το φυσικό περιβάλλον του χρήστη. [81]



Virtual, augmented and merged/mixed reality in comparison. Source: [extremetech.com](http://extremetech.com)

Εικόνα 25: Εικονική αναπαράσταση των διαφορών μορφών που απαρτίζουν την εκτεταμένη πραγματικότητα.[83]

Το XR (Extended Reality) διαθέτει τεράστιες δυνατότητες για εφαρμογές στη βιομηχανία 5.0, η οποία επικεντρώνεται στην ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών για τη δημιουργία ενός εξαιρετικά συνδεδεμένου και ευφυούς βιομηχανικού περιβάλλοντος. Ορισμένες από τις πιθανές εφαρμογές της XR στη βιομηχανία 5.0 περιλαμβάνουν:

- I. Εκπαίδευση και προσομοίωση: XR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή καθηλωτικών και ρεαλιστικών εμπειριών κατάρτισης για τους εργαζόμενους σε διάφορες βιομηχανίες. Τους επιτρέπει να εξασκούνται σε σύνθετες εργασίες, να χειρίζονται μηχανήματα και να προσομοιώνουν σενάρια σε ένα ασφαλές και ελεγχόμενο εικονικό περιβάλλον. Αυτό μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της εκπαίδευσης, να μειώσει το κόστος και να βελτιώσει τις δεξιότητες και την απόδοση των εργαζομένων.
- II. Απομακρυσμένη συνεργασία: Το XR διευκολύνει τη συνεργασία σε πραγματικό χρόνο μεταξύ απομακρυσμένων ομάδων δημιουργώντας εικονικούς χώρους εργασίας όπου οι συμμετέχοντες μπορούν να αλληλοεπιδρούν και να μοιράζονται πληροφορίες σαν να ήταν φυσικά παρόντες. Αυτό είναι ιδιαίτερα επωφελές για βιομηχανίες με κατανεμημένες ομάδες, επιτρέποντας την αποτελεσματική επικοινωνία, την επίλυση προβλημάτων και τη λήψη αποφάσεων.
- III. Συντήρηση και επισκευή: Το XR μπορεί να βοηθήσει τους τεχνικούς στην εκτέλεση εργασιών συντήρησης και επισκευής με την επικάλυψη ψηφιακών πληροφοριών,



οδηγιών ή διαγραμμάτων σε φυσικό εξοπλισμό. Αυτό βελτιώνει την αποτελεσματικότητα, την ακρίβεια και μειώνει το χρόνο διακοπής λειτουργίας παρέχοντας καθοδήγηση και υποστήριξη σε πραγματικό χρόνο.

- IV. Σχεδιασμός και οπτικοποίηση: Το XR επιτρέπει στους σχεδιαστές, τους μηχανικούς και τους αρχιτέκτονες να απεικονίζουν και να χειρίζονται εικονικά τρισδιάστατα μοντέλα σε πραγματικές συνθήκες. Ενισχύει τη διαδικασία σχεδιασμού, επιτρέπει την καλύτερη κατανόηση του χώρου και διευκολύνει τη συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερομένων, οδηγώντας σε βελτιωμένο σχεδιασμό προϊόντων και αρχιτεκτονικό σχεδιασμό.
- V. Δημιουργία πρωτοτύπων προϊόντων: Το XR επιτρέπει την ταχεία και οικονομικά αποδοτική προτυποποίηση δημιουργώντας εικονικές αναπαραστάσεις προϊόντων που μπορούν να αλληλεπιδράσουν και να δοκιμαστούν σε προσομοιωμένα περιβάλλοντα. Αυτό επιταχύνει τον κύκλο ανάπτυξης προϊόντων, διευκολύνει τις επαναληπτικές βελτιώσεις του σχεδιασμού και μειώνει την ανάγκη, ακόμη περισσότερο σε σχέση με τις προηγούμενες τεχνολογίες για φυσικά πρωτότυπα.
- VI. Οπτικοποίηση και ανάλυση δεδομένων: Το XR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την οπτικοποίηση σύνθετων συνόλων δεδομένων, δεδομένων αισθητήρων IoT και αναλύσεων με διαισθητικό και καθηλωτικό τρόπο. Αυτό επιτρέπει στους χειριστές και τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να αποκτούν πολύτιμες γνώσεις, να εντοπίζουν μοτίβα και να λαμβάνουν αποτελεσματικότερα αποφάσεις βάσει δεδομένων.
- VII. Βελτιωμένη αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής: Οι τεχνολογίες XR μπορούν να βελτιώσουν την αλληλεπίδραση μεταξύ ανθρώπων και μηχανών σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Μέσω χειρονομιών, φωνητικών εντολών και απτικής ανατροφοδότησης, οι εργαζόμενοι μπορούν να ελέγχουν και να χειρίζονται μηχανήματα, να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες και να εκτελούν εργασίες πιο διαισθητικά και αποτελεσματικά.
- VIII. Ποιοτικός έλεγχος και επιθεώρηση: Η XR μπορεί να βοηθήσει στις διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου με την επικάλυψη ψηφιακών επικαλύψεων σε φυσικά αντικείμενα, επισημαίνοντας ελαττώματα ή αποκλίσεις από τις επιθυμητές προδιαγραφές. Αυτό βοηθά τους επιθεωρητές στον γρήγορο και ακριβή εντοπισμό των ζητημάτων, βελτιώνοντας την ποιότητα των προϊόντων και μειώνοντας τα σφάλματα.

Καθώς οι τεχνολογίες XR συνεχίζουν να εξελίσσονται και να ωριμάζουν, έχουν τη δυνατότητα να φέρουν επανάσταση στις βιομηχανικές διαδικασίες, να ενισχύσουν την παραγωγικότητα, να βελτιώσουν την ασφάλεια και να προωθήσουν την καινοτομία σε διάφορους τομείς.

### 3.1.5 Τεχνητή Νοημοσύνη

Η τεχνητή νοημοσύνη, η οποία αναπτύχθηκε στην βιομηχανία 4.0 αναφέρεται στην ανάπτυξη συστημάτων που μπορούν να εκτελούν εργασίες και να λαμβάνουν αποφάσεις

που συνήθως απαιτούν ανθρώπινη νοημοσύνη, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Παρόλα αυτά με το πέρασμά του χρόνου η τεχνολογία αυτή εξακολουθεί να αναπτύσσεται και να έχει εφαρμογές σε όλο και περισσότερους τομείς, έτσι η συνέχεια της προσφέρει εφαρμογές και σε συστήματα της βιομηχανίας 5.0.

Συγκεκριμένα η εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στη βιομηχανία 4.0 και στη βιομηχανία 5.0 διαφέρουν ως προς τους στόχους τους, αντανακλώντας την εξέλιξη των βιομηχανικών συστημάτων και την ενσωμάτωσή τους με προηγμένες τεχνολογίες.

Στη Βιομηχανία 4.0, η πρωταρχική εστίαση των εφαρμογών τεχνητής αφορά την αυτοματοποίηση, τη βελτιστοποίηση διαδικασιών και τη βελτίωση της λειτουργικής αποδοτικότητας. Η AI χρησιμοποιείται για τον εξορθολογισμό των διαδικασιών παραγωγής, τη βελτίωση της διαχείρισης της αλυσίδας εφοδιασμού και τη δυνατότητα προληπτικής συντήρησης. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης χρησιμοποιούνται για την ανάλυση δεδομένων, την ανίχνευση ανωμαλιών και τη βελτιστοποίηση των ροών εργασίας παραγωγής.

Επίσης δίνει μεγάλη έμφαση στη συλλογή, συνδεσιμότητα και ανάλυση δεδομένων. Οι τεχνολογίες AI επιτρέπουν την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στις επιχειρήσεις να αποκτούν πληροφορίες, να λαμβάνουν αποφάσεις βάσει δεδομένων και να βελτιστοποιούν τις λειτουργίες τους. Αυτό περιλαμβάνει την προγνωστική ανάλυση, την πρόβλεψη ζήτησης, τον έλεγχο ποιότητας και τη διαχείριση αποθεμάτων.

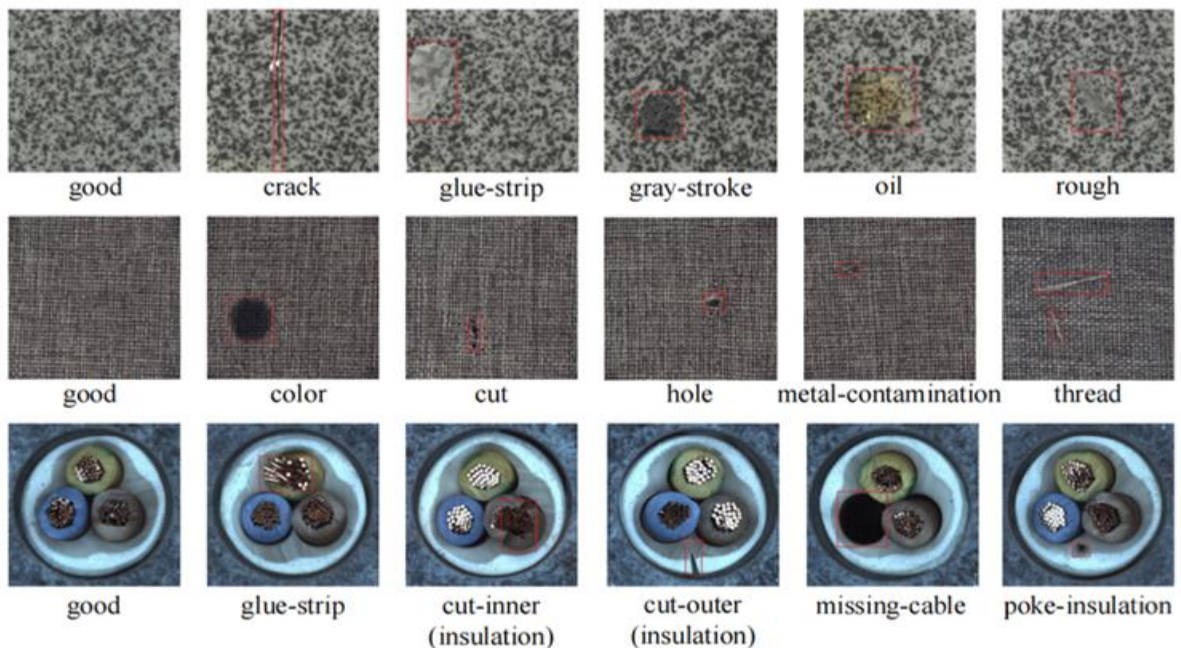
Τέλος η βιομηχανία 4.0 προωθεί την έννοια των έξυπνων εργοστασίων, όπου οι μηχανές, ο εξοπλισμός και τα συστήματα είναι διασυνδεδεμένα, επιτρέποντας την απρόσκοπτη επικοινωνία και συνεργασία. Τα συστήματα με βάση την τεχνητή νοημοσύνη διευκολύνουν την ενσωμάτωση των κυβερνο-φυσικών συστημάτων, του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) και του υπολογιστικού cloud για να καταστεί δυνατή η παρακολούθηση, ο έλεγχος και η βελτιστοποίηση των διαδικασιών παραγωγής σε πραγματικό χρόνο.

Επιστρέφοντας στην βιομηχανία 5.0 όπου οι εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης εστιάζουν κυρίως στους στόχους που θέτει αυτή η βιομηχανία, δηλαδή την βιωσιμότητα, την ανθεκτικότητα και την προσέγγιση με επίκεντρο τον άνθρωπό.

- Προσέγγιση με επίκεντρο τον άνθρωπο: Η βιομηχανία 5.0 δίνει έμφαση στη συνεργασία και την ενσωμάτωση του ανθρώπου με τις προηγμένες τεχνολογίες. Οι εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης επικεντρώνονται στην επαύξηση των ανθρώπινων ικανοτήτων και όχι στην αντικατάστασή τους. Αυτό γίνεται μέσω της χρήσης ρομποτικών συστημάτων με τεχνητή νοημοσύνη που συνεργάζονται με τους ανθρώπινους εργαζόμενους, ενισχύοντας την παραγωγικότητα και την αποδοτικότητά τους. Στόχος είναι η δημιουργία μιας αρμονικής σχέσης μεταξύ ανθρώπων και μηχανών, όπου η τεχνητή νοημοσύνη βοηθά τους εργαζόμενους σε σύνθετα καθήκοντα, στη λήψη αποφάσεων και στην επίλυση προβλημάτων.
- Προσαρμογή και ευελιξία: Η Βιομηχανία 5.0 στοχεύει στην ικανοποίηση της αυξανόμενης ζήτησης για εξατομικευμένα και προσαρμοσίμα προϊόντα. Η τεχνητή

νοημοσύνη αξιοποιείται για την ενεργοποίηση ευέλικτων συστημάτων παραγωγής που μπορούν να προσαρμόζονται στις επιμέρους απαιτήσεις των πελατών. Αυτό περιλαμβάνει την προσαρμοστική κατασκευή με βάση την AI, τις ευέλικτες γραμμές παραγωγής και την προσαρμογή σε πραγματικό χρόνο με βάση τις προτιμήσεις των πελατών.

- Συνεργασία και επικοινωνία: Η βιομηχανία 5.0 δίνει έμφαση στην ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών επικοινωνίας και εργαλείων συνεργασίας με βάση την τεχνητή νοημοσύνη. Τα συστήματα με δυνατότητές AI διευκολύνουν την απρόσκοπτη επικοινωνία και την ανταλλαγή γνώσεων μεταξύ των εργαζομένων, επιτρέποντας την απομακρυσμένη συνεργασία, την εικονική ομαδική εργασία και την αποτελεσματική λήψη αποφάσεων.
- Ποιοτικός έλεγχος και προληπτική συντήρηση: Τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης στη βιομηχανία 5.0 χρησιμοποιούν προηγμένους αισθητήρες, αλγόριθμους μηχανικής μάθησης και ανάλυση δεδομένων για την παρακολούθηση της ποιότητας της παραγωγής και την πρόβλεψη των αναγκών συντήρησης. Τα συστήματα ελέγχου ποιότητας με τεχνητή νοημοσύνη ανιχνεύουν ελαττώματα, ανωμαλίες και αποκλίσεις σε πραγματικό χρόνο, όπως φαίνεται στην εικόνα 26, εξασφαλίζοντας σταθερή ποιότητα προϊόντων. Οι αλγόριθμοι προληπτικής συντήρησης αναλύουν δεδομένα αισθητήρων για να προβλέπουν τις βλάβες του εξοπλισμού, μειώνοντας τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και βελτιστοποιώντας τα χρονοδιαγράμματα συντήρησης.



Εικόνα 26: Παραδείγματα εντοπισμού ανωμαλιών σε διάφορες επιφάνειες με την χρήση βαθιάς μάθησης.[84]

- Ψηφιακά δίδυμα και προσομοίωση: Οι τεχνολογίες AI διευκολύνουν τη δημιουργία ψηφιακών διδύμων, εικονικών αντιγράφων φυσικών πραγματικών στοιχείων, συστημάτων ή διαδικασιών. Αυτές οι ψηφιακές αναπαραστάσεις επιτρέπουν στους κατασκευαστές να προσομοιώνουν και να βελτιστοποιούν τις ροές εργασίας παραγωγής, να αναλύουν την απόδοση και να δοκιμάζουν νέα σενάρια. Με τη χρήση προσομοιώσεων με βάση την τεχνητή νοημοσύνη, οι κατασκευαστές μπορούν να εντοπίζουν πιθανά σημεία συμφόρησης, να αξιολογούν βελτιώσεις διαδικασιών και να βελτιστοποιούν την κατανομή των πόρων με ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια.
- Βιώσιμη και υπεύθυνη παραγωγή: Η τεχνητή νοημοσύνη στη βιομηχανία 5.0 υποστηρίζει φιλικές προς το περιβάλλον και κοινωνικά υπεύθυνες πρακτικές. Οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης αναλύουν την κατανάλωση ενέργειας, βελτιστοποιούν την κατανομή των πόρων και επιτρέπουν την αποτελεσματική διαχείριση των αποβλήτων. Τα συστήματα που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη βοηθούν τους κατασκευαστές να παρακολουθούν και να μειώνουν το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα, να τηρούν τα πρότυπα βιωσιμότητας και να διασφαλίζουν ηθικές πρακτικές παραγωγής.

Η αυξανόμενη ψηφιοποίηση των διαδικασιών παραγωγής έχει εντάξει τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης σε όλη τη βιομηχανία. Κατά συνέπεια, οι θέσεις εργασίας αναδιαμορφώνονται, προωθώντας την ανάπτυξη προσεγγίσεων συνεργασίας ανθρώπου-μηχανής. Οι άνθρωποι και οι μηχανές έχουν μοναδικές ικανότητες, οι οποίες μπορούν να ενισχυθούν μέσω μιας συνεργατικής σχέσης. Απαιτείται μια συστημική προσέγγιση για να υλοποιηθεί μια τέτοια συνεργασία στο έπακρο. Επιπλέον, πρέπει να επινοηθεί μια αρχιτεκτονική για την υποστήριξή της. Ειδικότερα, μια τέτοια αρχιτεκτονική πρέπει να εξετάσει ενότητες που σχετίζονται με την πρόβλεψη, την εξηγήσιμη τεχνητή νοημοσύνη, την ενεργό μάθηση, την προσομοιωμένη πραγματικότητα, τη λήψη αποφάσεων και την ανθρώπινη ανατροφοδότηση.[85]

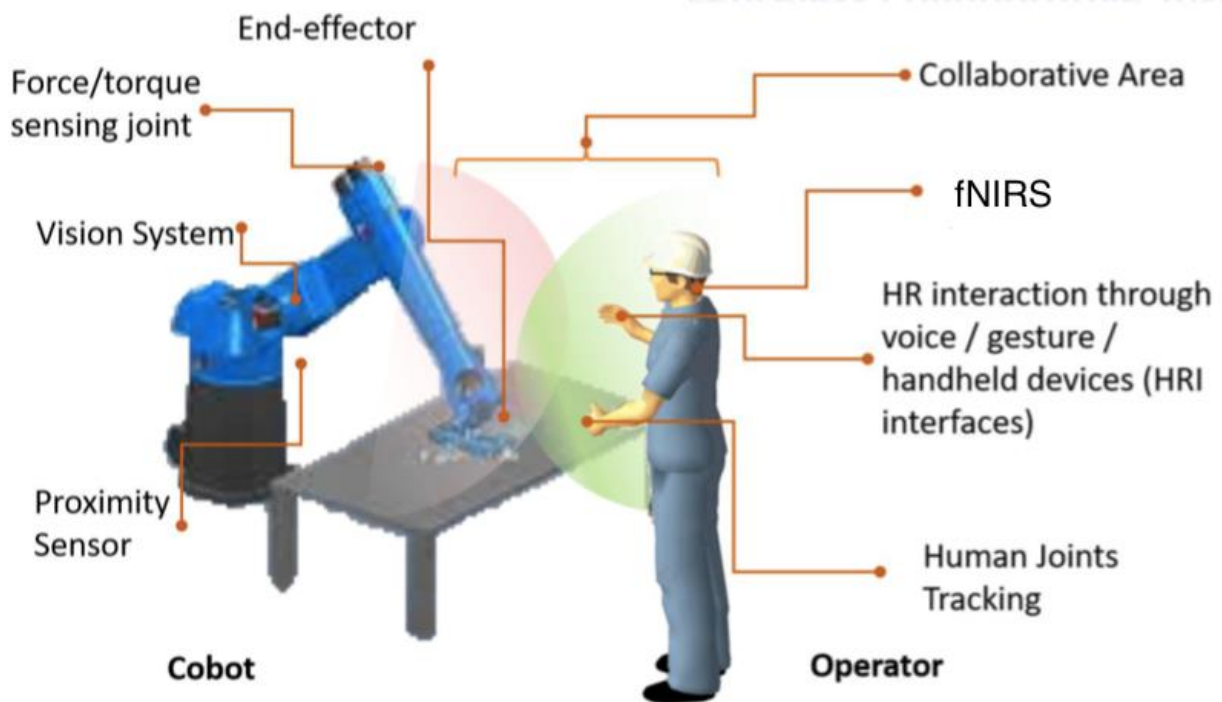
### 3.1.6 Συνεργασία ανθρώπου μηχανής - Cobot

Στη Βιομηχανία 5.0, η συνεργασία ανθρώπου-μηχανής βρίσκεται στο επίκεντρο, φέρνοντας επανάσταση στις παραδοσιακές βιομηχανικές πρακτικές και μεταμορφώνοντας τις βιομηχανίες με βαθύτατους τρόπους. Αυτή η συνεργασία διευκολύνει τη συνύπαρξη και τη συνεργασία ανθρώπων και μηχανών, δίνοντας στους εργαζόμενους τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν έξυπνα εργαλεία και τεχνολογίες για να επιτύχουν υψηλότερα επίπεδα αποδοτικότητας και προσαρμοστικότητας. Ως αποτέλεσμα, η Βιομηχανία 5.0 παρουσιάζει μια νέα πραγματικότητα όπου η συνεργασία ανθρώπου-μηχανής οδηγεί το επόμενο κύμα βιομηχανικού μετασχηματισμού, δημιουργώντας ένα μέλλον όπου άνθρωποι και μηχανές θα εργάζονται χέρι-χέρι για να επιτύχουν πρωτοφανή επίπεδα απόδοσης και επιτυχίας.

Η έννοια της συνεργασίας ανθρώπου μηχανής μπορεί να απεικονιστεί μέσω ενός παραδείγματος σε ένα στάδιο της παραγωγής, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 27. Η απεικόνιση παρουσιάζει έναν ανθρώπινο εργαζόμενο, που ως υποθέσουμε, ότι ασχολείται με τη συναρμολόγηση μιας ηλεκτρομηχανικής μηχανής. Ο εργαζόμενος ξεκινά μια εργασία, ενώ το ρομπότ παρακολουθεί στενά τη διαδικασία χρησιμοποιώντας μια κάμερα τοποθετημένη πάνω στον βραχίονα του, που χρησιμεύει ως οπτικός αισθητήρας του ρομπότ.

Το ρομπότ είναι συνδεδεμένο με έναν υπολογιστή επεξεργασίας που λαμβάνει την εικόνα της κάμερας, εκτελεί επεξεργασία εικόνας και χρησιμοποιεί μηχανική μάθηση για την αναγνώριση των μοτίβων της κίνησης του εργαζομένου. Δεν παρατηρεί μόνο τον ανθρώπινο εργαζόμενο, παρακολουθεί και το περιβάλλον γύρω από αυτόν, εξασφαλίζοντας τόσο τις ιδανικές συνθήκες για την εργασία όσο και την ασφάλεια του εργαζομένου. Χρησιμοποιεί επίσης ανάλυση της ανθρώπινης πρόθεσης με βάση τη βαθιά μάθηση για να προβλέψει τις μελλοντικές ενέργειες του εργαζομένου. Για την κατανόηση της ανθρώπινης πρόθεσης, χρησιμοποιείται ένα ασύρματο κανάλι επικοινωνίας με σκοπό τη λήψη σημάτων από τον ανθρώπινο εγκέφαλο, μέσω της λειτουργικής φασματοσκοπίας εγγύς υπέρυθρου. Η καταγραφή αυτή γίνεται συνήθως με τη μορφή ακουστικών, αφού αποδεικνύεται η πιο κατάλληλη μέθοδος για τον σκοπό αυτό, καθώς εξαλείφει τις χρονοβόρες διαδικασίες εγκατάστασης και βαθμονόμησης.

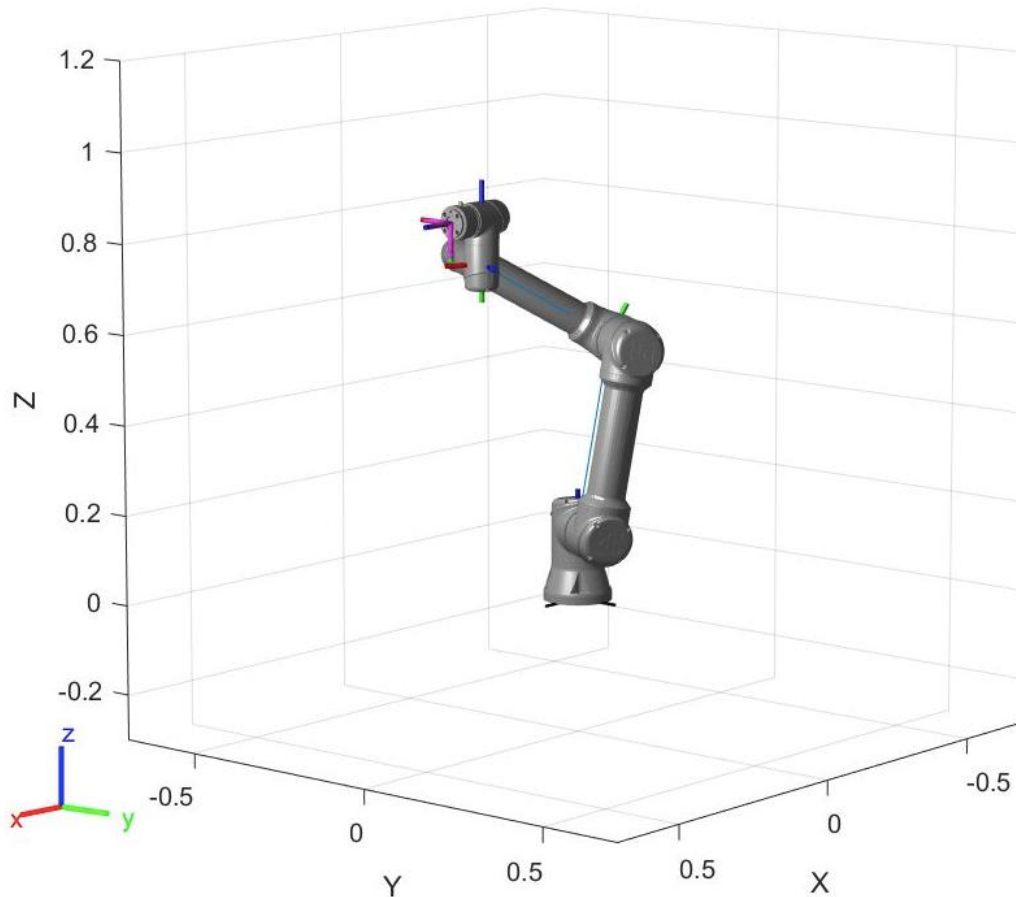
Μόλις το ρομπότ αποκτήσει εμπιστοσύνη στις προβλέψεις του, βοηθάει προληπτικά τον ανθρώπινο εργαζόμενο, συνεργαζόμενο ουσιαστικά μαζί του για να βελτιώσει τη συνολική αποδοτικότητα της διαδικασίας. Σε αυτό το σενάριο, το ρομπότ προβλέπει ότι ο ανθρώπινος χειριστής θα χρειαστεί ένα συγκεκριμένο εξάρτημα στο επόμενο βήμα της εργασίας. Κατά συνέπεια, το ρομπότ ανακτά το εξάρτημα εκ των προτέρων και το παραδίδει στον ανθρώπινο εργαζόμενο όταν χρειάζεται. Αυτή η απρόσκοπτη διαδικασία ελαχιστοποιεί την ανάγκη για τον ανθρώπινο χειριστή να κάνει διακοπές και αναπροσαρμογές στη ροή εργασίας του, καθώς το ρομπότ λειτουργεί ως ένας χρήσιμος συνεργάτης.[86]



Εικόνα 27: Παράδειγμα συνεργασίας ανθρώπου μηχανής.[87]

Ένα συνεργατικό ρομπότ σαν αυτό που φαίνεται παραπάνω, ονομάζεται cobot, είναι ένα βιομηχανικό ρομπότ που έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί σε συνεργασία με τον άνθρωπο σε έναν κοινό χώρο εργασίας, εξασφαλίζοντας ασφάλεια και αλληλεπίδραση. Αντίθετα, από τα αυτόνομα ρομπότ τα οποία είναι προγραμματισμένα για να εκτελούν συγκεκριμένες εργασίες και να παραμένουν στατικά σε ένα σκοπό .

Τα Cobots διαθέτουν διάφορους αισθητήρες που ελέγχονται από το λογισμικό τους, επιτρέποντάς τους να ανιχνεύουν αντικείμενα, άτομα και πιθανές συγκρούσεις. Το λογισμικό παρακολουθεί συνεχώς τις κινήσεις του cobot και αναλαμβάνει άμεση δράση, όπως το κλείσιμο, όταν εντοπίζει απροσδόκητα γεγονότα. Τα περισσότερα βιομηχανικά cobot εμπίπτουν στην κατηγορία περιορισμού ισχύος και δύναμης (PFL), εξοπλισμένα με ενσωματωμένους αισθητήρες που μπορούν να ανιχνεύσουν μη φυσιολογική δύναμη κατά τη διάρκεια μιας σύγκρουσης. Σε τέτοιες περιπτώσεις, το cobot είναι προγραμματισμένο είτε να επιβραδύνει είτε να διακόπτει εντελώς τις λειτουργίες του, διασφαλίζοντας την ασφάλεια αποτρέποντας ατυχήματα και τραυματισμούς. Επιπλέον, αυτά τα cobots διαθέτουν συχνά στρογγυλεμένες άκρες για να ελαχιστοποιήσουν τον κίνδυνο σύγκρουσης με τους ανθρώπινους εργαζόμενους.[88]



Εικόνα 28: Ενδεικτικός σχεδιασμός σε πρόγραμμα CAD του βασικού σώματος του cobot. Στην άκρη του βραχίονα συνδέονται διάφορα εξαρτήματα αναλόγως την λειτουργία που καλείται να κάνει. [89]

Τα συνεργατικά ρομπότ κυκλοφορούν σε διάφορους τύπους που διακρίνονται με βάση τον προγραμματισμό και τα χαρακτηριστικά ασφαλείας τους. Κάθε τύπος συνεργατικού ρομπότ χρησιμοποιεί συγκεκριμένες τεχνολογίες και μεθόδους για την εξασφάλιση ενός ασφαλούς περιβάλλοντος λειτουργίας. Μεταξύ αυτών των τύπων συγκαταλέγονται τα Cobots περιορισμού ισχύος και δύναμης, PFL, όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Τα PFL cobots έχουν σχεδιαστεί για να συνεργάζονται άμεσα με τους ανθρώπινους εργαζόμενους χωρίς την ανάγκη πρόσθετων φραγμών ασφαλείας, εξωτερικών σαρωτών ή συστημάτων όρασης. Αυτά τα cobots δίνουν προτεραιότητα στην ανθρώπινη ασφάλεια εξαλείφοντας τους εκτεθειμένους κινητήρες, τις αιχμηρές γωνίες και τα σημεία συμπίεσης. Συγκεκριμένα το ISO/TS 15066 ορίζει τον περιορισμό ισχύος και δύναμης του PFL ως έναν από τους τέσσερις τρόπους προστασίας για αυτά τα ρομπότ. Ο PFL καθορίζει τα όρια για επικίνδυνες κρούσεις και επαφές τσίμπησης που δεν πρέπει να υπερβαίνει ένα cobot για να προστατεύει τον άνθρωπο από σοβαρούς τραυματισμούς. Τα περισσότερα από τα όρια στο ISO/TS 15066 είναι προκαταρκτικά, καθώς βασίζονται σε μη επαληθευμένα δεδομένα.[90] Για να διασφαλιστεί αυτή η ασφαλής λειτουργία μαζί με τους ανθρώπινους εργαζόμενους, τα cobots με περιορισμό ισχύος και δύναμης ενσωματώνουν μόνιτορ σύγκρουσης που μπορούν να ανιχνεύσουν πιθανές συγκρούσεις και να σταματήσουν αμέσως τις κινήσεις του



cobot κατά την επαφή με ένα άτομο. Επί του παρόντος, τα cobots περιορισμού ισχύος και δύναμης χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές μικρής κλίμακας.

Ένας άλλος τύπος συνεργατικών ρομπότ είναι τα Cobots παρακολούθησης ασφαλείας με σταμάτημα (Safety Monitored Stop Cobots - SMS). Αυτά τα cobot χρησιμοποιούνται συνήθως σε σενάρια με ελάχιστη αλληλεπίδραση μεταξύ ανθρώπου και cobot. Πρόκειται για την χρήση των άπλων βιομηχανικών ρομπότ εξοπλισμένων με διάφορους αισθητήρες ασφαλείας που μπορούν να ανιχνεύσουν πότε ένας άνθρωπος εισέρχεται στο χώρο εργασίας του cobot. Όταν ανιχνεύεται ένας άνθρωπος, το cobot σταματά αμέσως τη λειτουργία του, επιτρέποντας στον ανθρώπινο εργαζόμενο να εργαστεί μαζί του με ασφάλεια. Μόλις ο άνθρωπος ολοκληρώσει την εργασία του, το ρομπότ κάνει επανεκκίνηση της εργασίας της με το απλό πάτημα ενός κουμπιού. Σε αυτή την κατηγορία δεν υπάρχει η άμεση αλληλεπίδρασή, ο ρόλος του cobot είναι απλώς βοηθητικός προς τον εργαζόμενο.

Τα SSM (Sensing Safety Monitor) cobot ταχύτητας και διαχωρισμού, γνωστά και ως cobots "χωρίς περίφραξη", είναι καταλληλότερα για καταστάσεις με περιορισμένη ανθρώπινη αλληλεπίδραση. Συνήθως χρησιμοποιούνται σαρωτές ακτίνας λέιζερ ασφαλείας για τον καθορισμό συγκεκριμένων περιοχών κοντά στο χώρο εργασίας του cobot. Με την τεχνολογία SSM, το περιβάλλον του ρομπότ παρακολουθείται συνεχώς και αν κάποιος πλησιάσει το ρομπότ, αυτό θα μειώσει αρχικά την ταχύτητά του και τελικά θα σταματήσει. Ο πρωταρχικός στόχος είναι να διασφαλιστεί ότι το ρομπότ θα σταματήσει πριν συμβεί οποιαδήποτε επαφή με το άτομο. Ένα πλεονέκτημα της SSM σε σχέση με την τεχνολογία περιορισμού ισχύος και δύναμης (PFL) είναι ότι τα ρομπότ μπορούν να λειτουργούν με υψηλότερες ταχύτητες, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένη παραγωγικότητα. Τα ρομπότ PFL πρέπει να διατηρούν χαμηλές ταχύτητες για να ελαχιστοποιούν τις δυνάμεις σε περίπτωση σύγκρουσης. Αντίθετα, με το SSM, το ρομπότ δεν χρειάζεται να σταματήσει αμέσως όταν κάποιος εισέρχεται στην περιοχή του, αλλά μπορεί αντίθετα να παρακολουθεί τις κινήσεις του ατόμου και να προσαρμόζει τη θέση του ώστε να διατηρεί μια ασφαλή απόσταση μειώνοντας σταδιακά την ταχύτητα του καθώς το άτομο πλησιάζει. Τελικά, το cobot μπορεί να χρειαστεί να λειτουργεί σε χαμηλότερες ταχύτητες παρόμοιες με την PFL για να εξασφαλιστεί η συμβατότητα μεταξύ των δύο τρόπων λειτουργίας. Καθώς το άτομο απομακρύνεται, το ρομπότ μπορεί να συνεχίσει με ταχύτερες κινήσεις. Είναι ζωτικής σημασίας να δοθεί προτεραιότητα στη μέγιστη παραγωγικότητα με παράλληλη διατήρηση της ασφάλειας και της συνεργασίας στο περιβάλλον του εργοστασίου.[91]

Τέλος, τα χειρό-κατευθυνόμενα HG (Hand Guiding) Cobots διαθέτουν ένα στοιχείο με βαθμό ασφαλείας στο άκρο του βραχίονα του cobot, επιτρέποντας σε έναν χειριστή να καθοδηγεί ή να μετακινεί χειροκίνητα το ρομπότ. Η χειροκίνητη καθοδήγηση χρησιμοποιείται συχνά για τον γρήγορο και εύκολο προγραμματισμό νέων διαδρομών και θέσεων για το cobot χρησιμοποιώντας κινήσεις του χεριού. Αυτός ο τύπος cobot είναι κατάλληλος για κινητές εφαρμογές, όπου τα ρομπότ πρέπει να ταξιδεύουν μεταξύ των σταθμών του εργοστασίου και απαιτούν επανεκπαίδευση για διαφορετικές εργασίες ή τακτικό επαναπρογραμματισμό για νέες αποστολές.

Αυτοί οι τέσσερις κύριοι τύποι συνεργατικών ρομπότ περιλαμβάνουν διάφορα ρομπότ που έχουν σχεδιαστεί για να δέχονται διαφορετικούς βαθμούς ανθρώπινης αλληλεπίδρασης



κατά τη λειτουργία. Αν και δεν προορίζονται όλα για συνεχή συνεργασία, κάθε τύπος ενσωματώνει χαρακτηριστικά ασφαλείας για την αποφυγή σοβαρών τραυματισμών.[92]

#### 4. Στόχοι της Βιομηχανίας 5.0

Η βιομηχανία 5.0, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αντιπροσωπεύει μια νέα εποχή για την μεταποίηση που δίνει έμφαση στην ενσωμάτωση όλων των παραπάνω προηγμένων τεχνολογιών για την επίτευξη της βιωσιμότητας, της ανθεκτικότητας και της ανθρωποκεντρικότητας.

Συνοπτικά η βιομηχανία 5.0 στοχεύει στην αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προβλημάτων και στην προώθηση βιώσιμων πρακτικών παραγωγής. Η ενσωμάτωση τεχνολογιών όπως το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων επιτρέπει την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας, της διαχείρισης των αποβλήτων και της κατανομής των πόρων. Αξιοποιώντας αυτές τις τεχνολογίες, οι κατασκευαστές μπορούν να ελαχιστοποιήσουν το αποτύπωμα άνθρακα, να μειώσουν τα απόβλητα υλικών και να υιοθετήσουν πρακτικές κυκλικής οικονομίας. Η βιομηχανία 5.0 προωθεί τη βιωσιμότητα διευκολύνοντας την αποδοτικότητα των πόρων, προωθώντας την υιοθέτηση καθαρής ενέργειας και διασφαλίζοντας την υπεύθυνη χρήση των πόρων σε όλη τη διαδικασία παραγωγής.

Ένας άλλος στόχος της βιομηχανίας 5.0 είναι η επίτευξη της ανθεκτικότητας στις διαδικασίες παραγωγής. Προηγμένες τεχνολογίες όπως η ρομποτική, η αυτοματοποίηση και η προληπτική συντήρηση συμβάλλουν στη μακροζωία και την αξιοπιστία των μηχανημάτων και του εξοπλισμού. Με τη χρήση συστημάτων με τεχνητή νοημοσύνη για την παρακολούθηση των συνθηκών του εξοπλισμού και την πρόβλεψη των αναγκών συντήρησης, οι κατασκευαστές μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τον χρόνο διακοπής λειτουργίας, να βελτιστοποιήσουν την αποδοτικότητα της παραγωγής και να μειώσουν την ανάγκη για συχνές αντικαταστάσεις. Η βιομηχανία 5.0 προωθεί την ανάπτυξη ανθεκτικών και αξιόπιστων προϊόντων, μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με τις συχνές αντικαταστάσεις και υποστηρίζοντας μια βιώσιμη και κυκλική οικονομία.

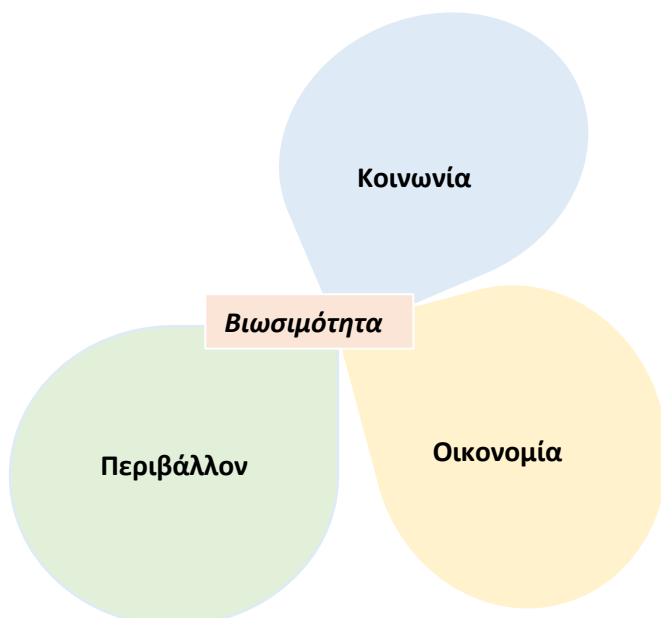
Τέλος η Βιομηχανία 5.0 δίνει προτεραιότητα στις ανθρώπινες ανάγκες και προσδοκίες, προωθώντας μια ανθρωποκεντρική προσέγγιση στη μεταποίηση. Η βιομηχανία 5.0 υιοθετεί μια ανθρωποκεντρική προσέγγιση ευθυγραμμισμένη με την κοινωνία 5.0, με στόχο τη δημιουργία ενός οικοσυστήματος παραγωγής που θα έχει ως επίκεντρο τα άτομα και θα ωφελεί την κοινωνία. Δίνοντας προτεραιότητα σε κοινωνικούς στόχους, οι τεχνολογίες της βιομηχανίας αυτής προωθούν μια καλύτερη ποιότητα ζωής για όλους. Εξασφαλίζει ίσες

ευκαιρίες, προάγει την κοινωνική συνοχή και αντιμετωπίζει τις κοινωνικές προκλήσεις. Δίνοντας έμφαση στη συνεχή μάθηση, η Βιομηχανία 5.0 ενισχύει τις ανθρώπινες ικανότητες αντί να τις αντικαθιστά, προωθώντας ένα εξειδικευμένο και προσαρμόσιμο εργατικό δυναμικό.

#### 4.1 Βιωσιμότητα

Η βιωσιμότητα συνεπάγεται την ικανοποίηση των σημερινών αναγκών, διασφαλίζοντας παράλληλα ότι οι μελλοντικές γενιές θα μπορούν να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες. Περιλαμβάνει όχι μόνο τη διατήρηση των φυσικών πόρων αλλά και τη χρήση των κοινωνικών και οικονομικών πόρων. Η βιωσιμότητα εκτείνεται πέρα από τις περιβαλλοντικές ανησυχίες- περιλαμβάνει την κοινωνική δικαιοσύνη και την οικονομική πρόοδο. Οι περισσότεροι ορισμοί της βιωσιμότητας ενσωματώνουν εκτιμήσεις για την κοινωνική ισότητα και την οικονομική ανάπτυξη, αναγνωρίζοντας τη διασύνδεση των περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών διαστάσεων. Στην ουσία, η αειφορία περιλαμβάνει μια ολιστική προσέγγιση που επιδιώκει την ισορροπία και την αρμονία μεταξύ του περιβάλλοντος, της κοινωνίας και της οικονομίας.[93]

Η έννοια της βιωσιμότητας χωρίζεται συχνά σε τρεις βασικούς άξονες, την οικονομική βιωσιμότητα, την βιωσιμότητα του περιβάλλοντος και την κοινωνική βιωσιμότητα, τα οποία αναφέρονται σε οικονομικά κέρδη, κέρδη για τον πλανήτη και για τον ίδιο τον άνθρωπο αντίστοιχα.



Εικόνα 29: Οι παράγοντες που καθορίζουν την βιωσιμότητα.

Σε αυτό το πλαίσιο, η οικονομική βιωσιμότητα αφορά τη διατήρηση των φυσικών πόρων που χρησιμεύουν ως εισροές για την οικονομική παραγωγή, περιλαμβάνοντας τόσο τους ανανεώσιμους όσο και τους εξαντλήσιμους πόρους. Η περιβαλλοντική βιωσιμότητα δίνει

μεγαλύτερη έμφαση στη διατήρηση των συστημάτων υποστήριξης της ζωής, όπως η ατμόσφαιρα και το έδαφος, τα οποία είναι απαραίτητα για την οικονομική παραγωγή και την ίδια την ανθρώπινη ύπαρξη. Από την άλλη πλευρά, η "κοινωνική βιωσιμότητα" επικεντρώνεται στις ανθρώπινες επιπτώσεις των οικονομικών συστημάτων, αντιμετωπίζοντας ζητήματα όπως η φτώχεια, η πείνα και η ανισότητα και προσπαθώντας να δημιουργήσει κοινωνίες χωρίς αποκλεισμούς και με γνώμονα την δικαιοσύνη.[94]

Ειδικότερα, η επίτευξη βιωσιμότητας στο χώρο της παραγωγής, γνωστή και ως "πράσινη παραγωγή", έχει καταστεί κεντρικός στόχος για πολλές βιομηχανίες. Η εστίαση σε βιώσιμες διαδικασίες και προϊόντα έχει προσελκύσει την προσοχή πολλών λόγω των οικονομικών και περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων που προσφέρουν. Για την επίτευξη αυτού του στόχου έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες στρατηγικές, οι οποίες οδηγούν σε αυξημένη βιωσιμότητα τόσο στα προϊόντα όσο και στις διαδικασίες

Υπάρχουν διάφοροι κρίσιμοι παράγοντες που επηρεάζουν τις πρακτικές βιώσιμης παραγωγής, οι οποίοι μπορούν να χωριστούν σε τρεις κύριες κατηγορίες, την διαχείριση, τους εσωτερικούς παράγοντες και τους εξωτερικούς παράγοντες. Η στάση της διοίκησης της βιομηχανίας απέναντι στις πρακτικές βιώσιμης μεταποίησης αποτελεί βασικό παράγοντα. Μελέτες έχουν διερευνήσει τον κοινωνικό προσανατολισμό και την αντίληψη της κοινωνικής εταιρικής βιωσιμότητας από τη σκοπιά της διοίκησης. Οι εταιρείες που διοικούνται από διευθυντές οι οποίοι διαθέτουν καθορισμένες κατευθυντήριες αρχές και ισχυρή αίσθηση κοινών αξιών έχουν περισσότερα κίνητρα και είναι πιο διατεθειμένοι να εφαρμόσουν πιο βιώσιμες πρακτικές.

Η δημιουργία ενός υποστηρικτικού περιβάλλοντος είναι ζωτικής σημασίας για την υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών. Οι κινητήριες δυνάμεις των βιώσιμων πρακτικών διαμορφώνονται από το γενικό πλαίσιο και την κατεύθυνση της επιχείρησης. Εσωτερικά, αυτό το υποστηρικτικό περιβάλλον περιλαμβάνει τις σχετικές πολιτικές, τους πόρους, την εσωτερική υποδομή και ένα καθιερωμένο σύστημα αξιολόγησης των επιδόσεων εντός του οργανισμού. Οι οργανωτικές πολιτικές θα πρέπει να είναι ευνοϊκές για την εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών παραγωγής.

Οι εξωτερικοί παράγοντες επηρεάζουν σε ακόμη υψηλότερο βαθμό την εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών στην βιομηχανία. Οι παράγοντες αυτοί περιλαμβάνουν τους τοπικούς νόμους και κανονισμούς, τις τάσεις της αγοράς σε συγκεκριμένο κλάδο και τις κοινωνικές πιέσεις. Οι μεταποιητικές εταιρείες πρέπει να αναπτύξουν βιώσιμα προϊόντα που ευθυγραμμίζονται με τις απαιτήσεις της αγοράς. Η ανάπτυξη βιώσιμων προϊόντων επηρεάζεται από παράγοντες κόστους και αγοράς, αντανακλώντας κοινές αντιλήψεις εντός του κλάδου.

Συνοπτικά, η επιδίωξη της βιώσιμης μεταποίησης έχει γίνει αναπόσπαστο μέρος του οράματος πολλών εταιρειών. Τα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη που απορρέουν από βιώσιμες διαδικασίες και προϊόντα έχουν θέσει τον στόχο αυτό στο επίκεντρο της προσοχής τα τελευταία χρόνια. [95] [96]

#### 4.1.1.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Η υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελεί έναν από τους κύριους στόχους της βιώσιμης ανάπτυξης, που περιγράφονται και σε παγκόσμιες πρωτοβουλίες όπως οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών . Συμβάλλει στην επίτευξη του SDG 7, ο οποίος αποσκοπεί στην εξασφάλιση πρόσβασης σε οικονομικά προσιτή, αξιόπιστη, βιώσιμη και σύγχρονη ενέργεια για όλους. Επιπλέον, η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της βιομηχανίας, των μεταφορών και των κτιρίων, προάγει την ενεργειακή απόδοση, μειώνει το λειτουργικό κόστος και ενισχύει την ενεργειακή ασφάλεια.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, πρόκειται για την χρήση φυσικών πόρων που αναπληρώνονται, προκειμένου να υπάρξει μια πιο βιώσιμη λύση σε σύγκριση με τις σημερινές πρωτογενείς πηγές ενέργειας. Σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας γίνονται όλο και πιο αποδοτικές από άποψη κόστους και έχουν σημαντικά μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αξιοποιώντας την ικανότητα της Γης να αναγεννά και να ανακυκλώνει την οργανική ύλη, η ανανεώσιμη ενέργεια έχει τη δυνατότητα να καλύπτει τις ενεργειακές μας ανάγκες επ' αόριστόν.

Η ανανεώσιμη ενέργεια ορίζεται από την ικανότητά της να αναπληρώνει τον πρωτογενή ενεργειακό πόρο με ρυθμό ανάλογο της χρήσης του. Αυτό τη διακρίνει από τους παραδοσιακούς πόρους, όπως ο άνθρακας και το πετρέλαιο, που χρειάζονται εκατομμύρια χρόνια για να σχηματιστούν και συνεπώς δεν θεωρούνται ανανεώσιμες. Για παράδειγμα, η ηλιακή ενέργεια μπορεί πάντα να αναπληρώνεται, παρόλο που μπορεί να μην υπάρχουν πάντα οι βέλτιστες συνθήκες για τη μέγιστη παραγωγή.

Παραδείγματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας περιλαμβάνουν:

- Τη βιομάζα, η οποία περιλαμβάνει την καύση ή τη μετατροπή οργανικών υλικών, όπως τα δέντρα, σε υγρή ή αέρια μορφή.
- Τη γεωθερμική ενέργεια, η οποία αξιοποιεί τη θερμότητα που παράγεται από τη διάσπαση ραδιενεργών σωματιδίων βαθιά μέσα στο υπέδαφος.
- Την υδροηλεκτρική ενέργεια, μια από τις παλαιότερες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία χρησιμοποιεί τεράστιες ποσότητες νερού και δύναμης.
- Την ηλιακή ενέργεια, μια δημοφιλής πράσινη εναλλακτική λύση, απαιτεί σημαντική επιφάνεια και συνεχές ηλιακό φως, που συχνά χρησιμοποιείται τόσο για άμεση παραγωγή θερμότητας όσο και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Την αιολική ενέργεια , η οποία χρησιμοποιεί τουρμπίνες για τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική ενέργεια και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες εργασίες.

Συνοπτικά, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προσφέρουν μια βιώσιμη και διαρκή λύση, καθώς βασίζονται σε πόρους που αναπληρώνονται φυσικά με την πάροδο του χρόνου.[97] Η αποδοτικότητά τους και οι ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους καθιστούν ελκυστικές εναλλακτικές λύσεις έναντι των ορυκτών καυσίμων. Συγκεκριμένα μερικές από τις συνηθέστερες εφαρμογές τους είναι:

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
Υδροηλεκτρική	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
Βιομάζα	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, πυρόλυση, αεριοποίηση
Γεωθερμική	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας
Ηλιακή	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ηλιακοί στεγνωτήρες, ηλιακοί φούρνοι
Αιολική	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και γεννήτριες

Πίνακας 4: Κατηγορίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και οι βασικές εφαρμογές τους.

Αξιοποιώντας τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, έχουμε τη δυνατότητα να καλύψουμε πολλές ενεργειακές μας ανάγκες εξασφαλίζοντας παράλληλα ένα καθαρότερο και πιο βιώσιμο μέλλον.[98]

Οι βιώσιμες πρακτικές περιλαμβάνουν επίσης την εξέταση του κύκλου ζωής των ενεργειακών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής, της διανομής και της διάθεσης των ενεργειακών τεχνολογιών. Αυτό περιλαμβάνει την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων που συνδέονται με την εξόρυξη πρώτων υλών, τις διαδικασίες παραγωγής και την ανακύκλωση ή την ορθή διάθεση του χρησιμοποιημένου εξοπλισμού.

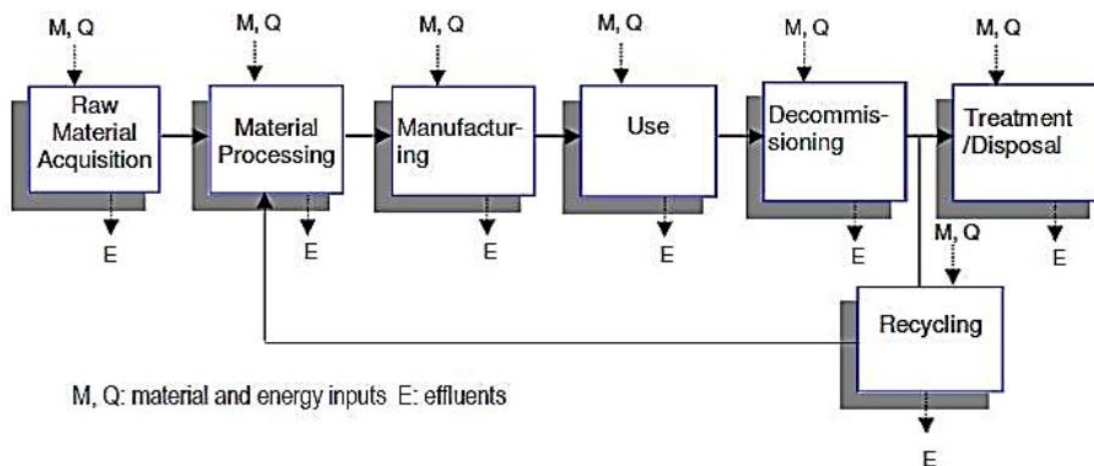
#### 4.1.1.2 Αξιολόγηση κύκλου ζωής

Συγκεκριμένα η αξιολόγηση κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment) LCA είναι μια μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, μιας διαδικασίας ή ενός συστήματος, από την εξόρυξη των πρώτων υλών έως την τελική διάθεση. Πρόκειται για μια συστηματική προσέγγιση που αξιολογεί τις περιβαλλοντικές πτυχές και τις πιθανές επιπτώσεις σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, συμπεριλαμβανομένης της απόκτησης πρώτων υλών, της κατασκευής, της χρήσης και του τέλους του κύκλου ζωής.

Ο σκοπός της διενέργειας μιας αξιολόγησης του κύκλου ζωής είναι να παρέχει μια ολοκληρωμένη κατανόηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός προϊόντος ή συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις εισροές και εκροές σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του. Η αξιολόγηση αυτή λαμβάνει υπόψη διάφορους παράγοντες, όπως η κατανάλωση ενέργειας, η εξάντληση των πόρων, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η ρύπανση του αέρα και των υδάτων, η παραγωγή αποβλήτων και οι πιθανές οικολογικές επιπτώσεις.

Η διαδικασία της αξιολόγησης του κύκλου ζωής περιλαμβάνει συνήθως τα τέσσερα παρακάτω βασικά βήματα:

- I. Καθορισμός του στόχου και του πεδίου εφαρμογής: Σαφής καθορισμός του σκοπού, των ορίων και των συγκεκριμένων περιβαλλοντικών πτυχών που θα αξιολογηθούν στην αξιολόγηση.
- II. Απογραφή του κύκλου ζωής (Life Cycle Inventory) LCI: Συλλογή δεδομένων για όλες τις εισροές όπως οι πρώτες ύλες και η ενέργεια παραγωγής, και εκροές, όπως οι εκπομπές κατά την χρήση και τα απόβλητα, που σχετίζονται με κάθε στάδιο του κύκλου ζωής του προϊόντος ή του συστήματος υπό εξέταση.
- III. Εκτίμηση επιπτώσεων κύκλου ζωής (Life Cycle Impact Assessment) LCIA: Αξιολόγηση και ποσοτικοποίηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προσδιορισμένων εισροών και εκροών με τη χρήση διαφόρων κατηγοριών επιπτώσεων, όπως το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη, η οξυνση και η εξάντληση των πόρων.
- IV. Ερμηνεία: Ανάλυση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων της αξιολόγησης του κύκλου ζωής για τον εντοπισμό τομέων βελτίωσης, εστιών και πιθανών στρατηγικών για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Το βήμα αυτό περιλαμβάνει επίσης την εξέταση των αβεβαιοτήτων και των περιορισμών της αξιολόγησης.[99]



Εικόνα 30: Διάγραμμα του κύκλου ζωής για ένα προϊόν, πρώτο στάδιο στην αξιολόγηση είναι η πρώτη ύλη που δαπανάτε, έπειτα η ενέργεια που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία, η ενέργεια που καταναλώνει κατά την χρήση και τέλος με την διακοπή της λειτουργίας του, πόσο μπορεί να ανακυκλωθεί ή τι είδος απόβλητο θα αποτελέσει. [100]

Οι αξιολογήσεις κύκλου ζωής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενημέρωση των διαδικασιών λήψης αποφάσεων, την καθοδήγηση της ανάπτυξης και του σχεδιασμού προϊόντων, τον εντοπισμό περιοχών για βελτίωση και βελτιστοποίηση, τη σύγκριση διαφορετικών προϊόντων ή συστημάτων και την υποστήριξη στρατηγικών και πολιτικών βιωσιμότητας. Μέσω της αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιδόσεων ενός προϊόντος ή

συστήματος καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του, η διαδικασία αυτή συμβάλλει στον εντοπισμό ευκαιριών για την ελαχιστοποίηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης και την προώθηση πιο βιώσιμων πρακτικών.

Η αξιολόγηση του κύκλου ζωής LCA μπορεί να προσφέρει σημαντικά οφέλη στη βιομηχανία 5.0, βοηθώντας τις εταιρείες να ενσωματώσουν τις αρχές της βιωσιμότητας στις δραστηριότητές τους και στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Με τη διενέργεια LCA, οι βιομηχανίες μπορούν να αποκτήσουν μια ολοκληρωμένη κατανόηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τα προϊόντα ή τα συστήματά τους καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους.

#### 4.1.1.3 Κοινωνική Σπατάλη

Επίσης η έλλειψη της βιωσιμότητας συνδέεται και με την κοινωνική σπατάλη με διάφορους τρόπους. Η κοινωνική σπατάλη αναφέρεται στις ανεπάρκειες, τις ανισότητες και τις αρνητικές κοινωνικές συνέπειες που προκύπτουν από μη βιώσιμες πρακτικές και συστήματα. Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι:

- Άδικη κατανομή των πόρων: Οι μη βιώσιμες πρακτικές συχνά συμβάλλουν στην άνιση κατανομή των πόρων, όπως η τροφή, το νερό, η ενέργεια και οι φυσικοί πόροι. Αυτό οδηγεί σε κοινωνική σπατάλη, καθώς ορισμένες ομάδες ή κοινότητες μπορεί να υποφέρουν από ανεπαρκή πρόσβαση σε βασικούς πόρους, με αποτέλεσμα τη φτώχεια, την πείνα και τις κοινωνικές ανισότητες.
- Περιβαλλοντική υποβάθμιση και επιπτώσεις στην υγεία: Οι μη βιώσιμες πρακτικές, όπως η ρύπανση, η αποψίλωση των δασών και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, μπορεί να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία των κοινοτήτων. Η έκθεση στη ρύπανση και τους περιβαλλοντικούς κινδύνους επηρεάζει δυσανάλογα τους περιθωριοποιημένους και ευάλωτους πληθυσμούς, οδηγώντας σε αυξημένες δαπάνες υγειονομικής περίθαλψης, μειωμένη ποιότητα ζωής και κοινωνική ανισότητα.
- Εκτοπισμός και κοινωνικές συγκρούσεις: Η μη βιώσιμη εξόρυξη πόρων ή οι πρακτικές χρήσης γης μπορεί να οδηγήσουν στον εκτοπισμό αυτόχθονων κοινοτήτων, αγροτικών πληθυσμών ή περιθωριοποιημένων ομάδων. Αυτό οδηγεί σε κοινωνική σπατάλη όσον αφορά τη διατάραξη των μέσων διαβίωσης, την απώλεια της πολιτιστικής κληρονομιάς και την αύξηση των κοινωνικών συγκρούσεων.
- Παραγωγή και διάθεση αποβλήτων: Τα μη βιώσιμα καταναλωτικά πρότυπα και η ακατάλληλη διαχείριση των αποβλήτων συμβάλλουν στα κοινωνικά απόβλητα. Η υπερπαραγωγή και η αλόγιστη χρήση των πόρων οδηγούν στην εξάντληση των πεπερασμένων πόρων και στην αυξημένη παραγωγή αποβλήτων. Η ακατάλληλη

διάθεση των αποβλήτων μπορεί να βλάψει τις κοινότητες, ιδίως εκείνες που ζουν κοντά σε χώρους υγειονομικής ταφής ή αποτεφρωτήρες, οδηγώντας σε κινδύνους για την υγεία.

- Οικονομική επιβάρυνση: Η έλλειψη βιωσιμότητας μπορεί να οδηγήσει σε οικονομική επιβάρυνση των κοινωνιών. Για παράδειγμα, οι μη βιώσιμες γεωργικές πρακτικές μπορεί να εξαντλήσουν τη γονιμότητα του εδάφους και να απαιτήσουν αυξημένη χρήση λιπασμάτων, οδηγώντας σε υψηλότερο κόστος παραγωγής και πληθωρισμό των τιμών των τροφίμων. Αυτή η οικονομική επιβάρυνση μπορεί να επηρεάσει δυσανάλογα τους ευάλωτους πληθυσμούς και να συμβάλει στις κοινωνικές ανισότητες.
- Διασυνδεδεμένες κοινωνικές και περιβαλλοντικές προκλήσεις: Η μη βιωσιμότητα συχνά επιδεινώνει τις υπάρχουσες κοινωνικές προκλήσεις, όπως η φτώχεια, η ανισότητα και η ανεπαρκής πρόσβαση στην εκπαίδευση και την υγειονομική περίθαλψη. Αυτά τα αλληλένδετα ζητήματα δημιουργούν έναν κύκλο κοινωνικής σπατάλης, όπου η αδυναμία αντιμετώπισης της βιωσιμότητας οδηγεί σε περαιτέρω κοινωνική και περιβαλλοντική υποβάθμιση.
- Περιορισμένες ευκαιρίες απασχόλησης και ελλείψεις δεξιοτήτων: Η έλλειψη τεχνολογικών γνώσεων μεταξύ των ατόμων μπορεί να δημιουργήσει εμπόδια στην απασχόληση σε κλάδους που απαιτούν προηγμένες τεχνολογικές δεξιότητες. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε κοινωνική σπατάλη, καθώς τα ικανά άτομα μπορεί να αποκλειστούν από οικονομικές ευκαιρίες και να αντιμετωπίσουν δυσκολίες στην εύρεση κατάλληλης απασχόλησης.

Η αντιμετώπιση των προκλήσεων βιωσιμότητας είναι απαραίτητη για τη μείωση της κοινωνικής σπατάλης. Με την προώθηση βιώσιμων πρακτικών και συστημάτων, μπορούμε να επιδιώξουμε τη δίκαιη κατανομή των πόρων, να προστατεύσουμε την ανθρώπινη υγεία και ευημερία, να προωθήσουμε την κοινωνική συνοχή και να διασφαλίσουμε μια πιο δίκαιη και χωρίς αποκλεισμούς κοινωνία.

#### 4.1.2 Ανθρωποκεντρικότητα

Η βιομηχανία 5.0 έχει ως στόχο να δώσει προτεραιότητα στην ευημερία των εργαζομένων και να προωθήσει τη βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη, τοποθετώντας τον άνθρωπο στο επίκεντρο των έξυπνων διαδικασιών παραγωγής. Αυτό, όπως αναφέρθηκε, περιλαμβάνει τη συνεργατική εργασία μεταξύ ανθρώπων και μηχανών για τη βελτίωση της παραγωγικότητας και της αποδοτικότητας. Για να επιτευχθεί αυτό, οι εταιρείες και ειδικότερα οι βιομηχανίες πρέπει να δημιουργήσουν ενεργές σχέσεις μεταξύ των ανθρώπων και των ψηφιακών τεχνολογιών, με στόχο τα κοινωνικά αυτοματοποιημένα συστήματα.

Πριν από την έλευση της ψηφιοποίησης και της αυτοματοποίησης, οι άνθρωποι ήταν υπεύθυνοι για την εκτέλεση χειρωνακτικών εργασιών, επαναλαμβανόμενων με μεγάλη συχνότητα και απαιτούμενων μεγάλης σωματικής καταπόνηση. Ωστόσο, η εισαγωγή των



ψηφιακών τεχνολογιών ανέδειξε τις πιθανές αδυναμίες του ανθρώπου στις βιομηχανικές διαδικασίες, οδηγώντας στη σταδιακή αντικατάστασή του από την τεχνολογία. Ως απάντηση, υπήρξε μια στροφή προς μια ανθρωποκεντρική προσέγγιση, όπου οι ανάγκες και τα συμφέροντα των ανθρώπων τίθενται στο επίκεντρο των παραγωγικών διαδικασιών. Η προσέγγιση αυτή αποσκοπεί στην αξιοποίηση της ισχύος και της ακρίβειας της τεχνολογίας, διατηρώντας παράλληλα την ευελιξία και τη δημιουργικότητα των ανθρώπινων χειριστών, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να ξεπεράσουν τους περιορισμούς που τους επιβάλλει η τεχνολογία.

Η ευημερία των εργαζομένων έχει προτεραιότητα στις βιομηχανίες με την ανάπτυξη τεχνολογιών που δημιουργούν ανταποδοτικά και παρακινητικά περιβάλλοντα εργασίας προσαρμοσμένα στις ανάγκες τους. Αυτό περιλαμβάνει την παροχή ασφαλών και χωρίς αποκλεισμούς εργασιακών περιβαλλόντων που δίνουν προτεραιότητα στη σωματική και ψυχική υγεία, την αυτονομία, την ιδιωτικότητα και την αξιοπρέπεια των εργαζομένων. Για τη βελτίωση της ευημερίας των εργαζομένων χρησιμοποιούνται στρατηγικές όπως η προσφορά ποικίλων προγραμμάτων εργασίας, η εναλλαγή θέσεων εργασίας, η συνεκτίμηση των αναγκών και των προσόντων των χειριστών και η παροχή εργονομικών χώρων εργασίας. Η ανθρωποκεντρικότητα επιτυγχάνεται με τη συμμετοχή όλων των ενδιαφερόμενων στις διαδικασίες σύλληψης, σχεδιασμού και καινοτομίας, καθώς και στον προγραμματισμό, τον έλεγχο και τον σχεδιασμό του συστήματος και του προϊόντος .

Καθώς οι βιομηχανίες μεταβαίνουν προς κοινωνικό - τεχνολογικά συστήματα παραγωγής, οι βιομηχανικοί εργαζόμενοι πρέπει να αποκτούν, να αναβαθμίζουν και να εντρίβουν συνεχώς τις γνώσεις, τις δεξιότητες και τα προσόντα τους, προκειμένου να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις και να δημιουργούν καλύτερες ευκαιρίες σταδιοδρομίας. Οι μελλοντικοί χειριστές πρέπει να προετοιμάζονται και να εκπαιδεύονται ώστε να συμμετέχουν ενεργά στα συστήματα παραγωγής και να συμβάλλουν στην επιτυχία του βιομηχανικού ψηφιακού μετασχηματισμού. Η συνεργασία μεταξύ ανθρώπων και έξυπνων τεχνολογιών και η διαχείριση των μελλοντικών συστημάτων παραγωγής θα επηρεαστούν σημαντικά από τη βιομηχανία 5.0. Ως εκ τούτου, η συνεχής κατάρτιση είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση ενός εξειδικευμένου εργατικού δυναμικού μέσω της ανάπτυξης πολύπλευρων ανθρώπινων δεξιοτήτων και της ψηφιακής εκπαίδευσης.[101][102]

Η προώθηση της ανθρώπινης δημιουργικότητας στη Βιομηχανία 5.0 είναι εξίσου σημαντική. Μέσω αυτής μπορούν να γίνουν μεγάλα βήματα στην καινοτομία, την προσαρμοστικότητα και την ανταγωνιστικότητα, ενώ παράλληλα ενισχύει τη δέσμευση των εργαζομένων και συμβάλλει σε κοινωνικά και ηθικά ζητήματα, οδηγώντας τελικά σε ένα πιο βιώσιμο και ευημερούν μέλλον που έχει τον άνθρωπο ως κινητήριο άξονα . Εκτιμώντας και καλλιεργώντας το δημιουργικό δυναμικό των ατόμων, η Βιομηχανία 5.0 μπορεί να ξεκλειδώσει μοναδικές λύσεις, να αντιμετωπίσει τις προκλήσεις της βιομηχανίας και να δημιουργήσει μια κουλτούρα συνεχούς βελτίωσης, με αποτέλεσμα τη μακροπρόθεσμη επιτυχία και τον θετικό κοινωνικό αντίκτυπο. Η βιομηχανία 5.0 μπορεί να προωθήσει την ανθρώπινη δημιουργικότητα με διάφορους τρόπους, μερικοί από αυτούς είναι:

- I. Ενδυνάμωση των εργαζομένων: Δίνει έμφαση στη συνεργασία μεταξύ ανθρώπων και μηχανών, αναγνωρίζοντας τις μοναδικές ικανότητες και τη δημιουργικότητα των

ανθρώπινων χειριστών. Παρέχοντάς τους εργαλεία, τεχνολογίες και αυτονομία, οι εργαζόμενοι ενθαρρύνονται να εισάγουν τις καινοτόμες ιδέες τους και τις ικανότητες επίλυσης προβλημάτων στις διαδικασίες παραγωγής.

- II. Ποικιλία και ευελιξία εργασιών: Προωθεί την εναλλαγή θέσεων εργασίας και τις διαφορετικές αναθέσεις καθηκόντων, επιτρέποντας στους εργαζόμενους να ασχολούνται με ποικίλες δραστηριότητες. Αυτό συμβάλλει στην αποφυγή της μονοτονίας και προάγει τη δημιουργικότητα, εκθέτοντας τα άτομα σε διαφορετικές προκλήσεις και προοπτικές μέσα στο περιβάλλον παραγωγής.
- III. Ανθρωποκεντρικός σχεδιασμός: Οι τεχνολογίες και τα συστήματα σχεδιάζονται με έμφαση στις ανθρώπινες ανάγκες και προτιμήσεις. Οι διεπαφές με επίκεντρο τον χρήστη, οι διαισθητικοί έλεγχοι και τα προσαρμόσιμα χαρακτηριστικά επιτρέπουν στους εργαζόμενους να έχουν μια συνεχή αλληλεπίδραση με τις μηχανές και την τεχνολογία πιο αποτελεσματικά, απελευθερώνοντας τη διανοητική ικανότητα για δημιουργική σκέψη και λήψη αποφάσεων.
- IV. Συνεχής μάθηση και ανάπτυξη δεξιοτήτων: Δίνεται έμφαση στη συνεχή μάθηση και στην αναβάθμιση των δεξιοτήτων των εργαζόμενων. Παρέχοντας προγράμματα κατάρτισης και ευκαιρίες στους εργαζόμενους να αποκτούν νέες γνώσεις και δεξιότητες, μπορούν να παραμένουν ενημερωμένοι με τις τελευταίες τεχνολογίες και τάσεις. Αυτό ενισχύει την ικανότητά τους να συνεισφέρουν δημιουργικές λύσεις και να προσαρμόζονται στις εξελισσόμενες διαδικασίες παραγωγής.
- V. Συνεργασία και συν δημιουργία: Ενθαρρύνεται η συνεργασία και η συν δημιουργία μεταξύ εργαζομένων και μηχανών. Με την προώθηση μιας κουλτούρας ομαδικής εργασίας, επικοινωνίας και ανταλλαγής γνώσεων, οι οργανισμοί μπορούν να αξιοποιήσουν τη συλλογική δημιουργικότητα του εργατικού δυναμικού τους. Οι εργαζόμενοι μπορούν να συνεργάζονται με τις ευφυείς μηχανές για την ανάπτυξη καινοτόμων ιδεών, τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών και την προώθηση της συνεχούς βελτίωσης.
- VI. Υποστηρικτικό περιβάλλον εργασίας: Προωθείται ένα υποστηρικτικό εργασιακό περιβάλλον που εκτιμά και επιβραβεύει τη δημιουργικότητα. Η αναγνώριση και η εκτίμηση των ιδεών των εργαζομένων, η παροχή διαύλων για ανατροφοδότηση και η δημιουργία χώρων για καταιγισμό ιδεών και συνεδρίες ιδεοληψίας μπορούν να καλλιεργήσουν και να εμπνεύσουν τη δημιουργική σκέψη των εργαζομένων.
- VII. Επιχειρηματική νοοτροπία: Ενθαρρύνονται οι εργαζόμενοι να αναπτύξουν επιχειρηματική νοοτροπία, επιτρέποντάς τους να αναλάβουν την ευθύνη της εργασίας τους, να διερευνήσουν νέες ευκαιρίες και να προτείνουν καινοτόμες λύσεις. Αυτή η νοοτροπία προάγει μια κουλτούρα δημιουργικότητας, ανάληψης κινδύνων και συνεχούς καινοτομίας εντός του οργανισμού.

Με την υιοθέτηση αυτών των αρχών, η Βιομηχανία 5.0 μπορεί να δημιουργήσει ένα ευνοϊκό περιβάλλον όπου η ανθρώπινη δημιουργικότητα ανθίζει, οδηγώντας στην ανάπτυξη νέων ιδεών, βελτιωμένων διαδικασιών και αυξημένης παραγωγικότητας.

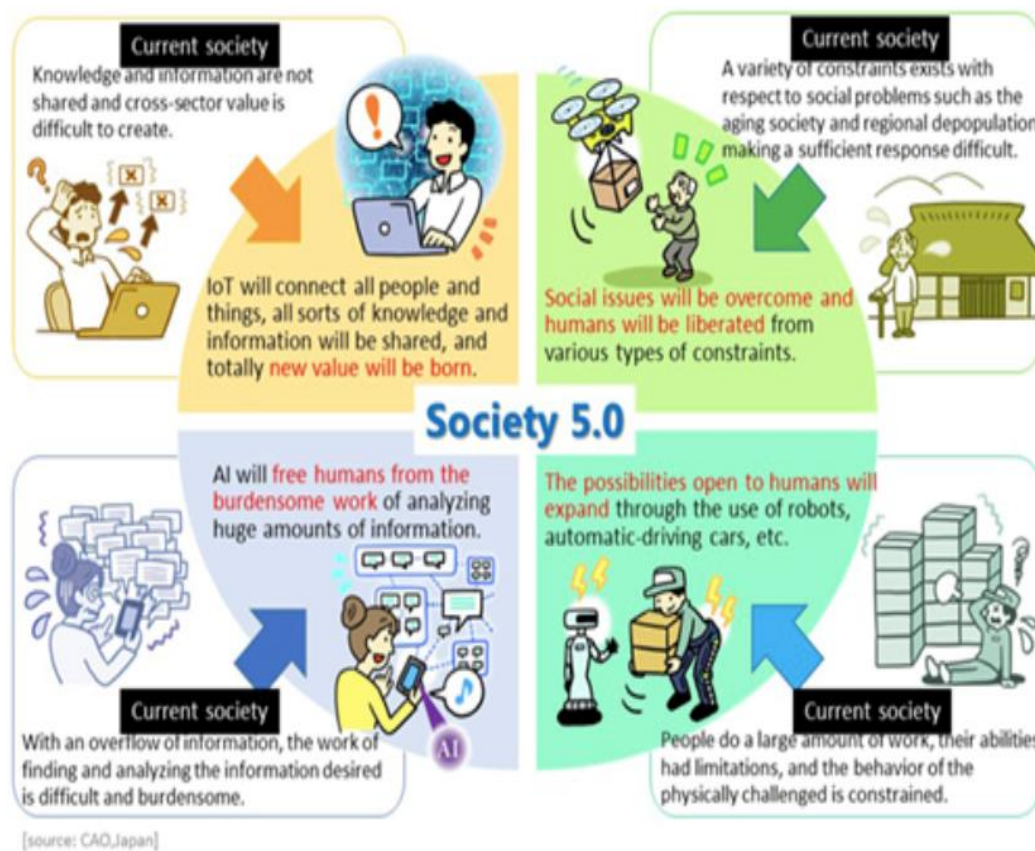
#### 4.1.2.1 Βιομηχανία 5.0 και Κοινωνία 5.0

Η Κοινωνία 5.0, είναι ένα μελλοντικό όραμα που καθοδηγείται από την επιστημονική και τεχνολογική πρόοδο, επιδιώκει να δημιουργήσει μια κοινωνία με επίκεντρο τον άνθρωπο και χαρακτηρίζεται από υψηλή πρόοδο, αντιμετωπίζοντας τις κοινωνικές προκλήσεις και επιτυγχάνοντας ταυτοχρόνως και την οικονομική πρόοδο. Αυτή η ιδέα, που ξεκίνησε από την ιαπωνική κυβέρνηση, αποσκοπεί στη συγχώνευση του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου με τη χρήση τεχνολογιών όπως το 5G, τα Big Data και η τεχνητή νοημοσύνη για την παροχή των απαραίτητων αγαθών και υπηρεσιών για τα άτομα, εξασφαλίζοντας υψηλή ποιότητα ζωής. Η Κοινωνία 5.0 αντιπροσωπεύει τον πέμπτο μετασχηματισμό της ανθρώπινης κοινωνίας.[103]

Η θεμελιώδης έννοια της Κοινωνίας 5.0 περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων από τον πραγματικό κόσμο, την επεξεργασία τους από υπολογιστές και την εφαρμογή των αποτελεσμάτων σε πραγματικές συνθήκες. Αυτός ο μηχανισμός δεν είναι εντελώς νέος και μπορεί να παρατηρηθεί σε καθημερινά παραδείγματα, όπως οι μονάδες κλιματισμού που διατηρούν τις επιθυμητές θερμοκρασίες. Ωστόσο, αυτό που διαφοροποιεί την Κοινωνία 5.0 είναι η ενσωμάτωση των συστημάτων αυτών, σε ολόκληρη την κοινωνία για να διασφαλιστεί η συνολική ευημερία και άνεση. Ξεπερνά τις επιμέρους πτυχές όπως ο έλεγχος της θερμοκρασίας και επεκτείνεται σε τομείς όπως η ενέργεια, οι μεταφορές, η υγειονομική περίθαλψη, τα ψώνια, η εκπαίδευση, η εργασία και ο ελεύθερος χρόνος.

Αυτή η ολοκλήρωση απαιτεί τη συλλογή ποικίλων και εκτεταμένων δεδομένων, τα οποία στη συνέχεια επεξεργάζονται από προηγμένα συστήματα πληροφορικής, όπως η τεχνητή νοημοσύνη. Οι πληροφορίες που προκύπτουν από αυτή την ανάλυση εφαρμόζονται με πρακτικούς τρόπους για να βελτιώσουν την ευτυχία και την άνεση όλων των μελών της κοινωνίας. Η σημαντικότερη πτυχή της Κοινωνίας 5.0 είναι ότι οι πληροφορίες που προκύπτουν δεν καθοδηγούν απλώς τη λειτουργία συγκεκριμένων συσκευών ή συστημάτων, αλλά επηρεάζουν άμεσα τις ενέργειες και τη συμπεριφορά των ατόμων. Συνοπτικά, η Κοινωνία 5.0 εγκαθιδρύει έναν επαναληπτικό κύκλο συλλογής δεδομένων, ανάλυσης,

μετατροπής σε ουσιαστικές πληροφορίες και εφαρμογής σε κοινωνικό επίπεδο.[104]



Εικόνα 31: Παραδείγματα εφαρμογών της κοινωνίας 5.0 [105]

Η Βιομηχανία 5.0 και η Κοινωνία 5.0 συνδέονται στενά μεταξύ τους, αντιπροσωπεύοντας μια ισχυρή συμβιωτική σχέση που ενέχει τεράστιες δυνατότητες για τη διαμόρφωση ενός καλύτερου μέλλοντος. Η Βιομηχανία 5.0, με τη συγχώνευση προηγμένων τεχνολογιών και ανθρωποκεντρικών προσεγγίσεων, επιδιώκει να μετασηματίσει τη μεταποίηση και να φέρει μια νέα εποχή συνεργατικής παραγωγής. Ταυτόχρονα, η Κοινωνία 5.0 οραματίζεται μια αρμονική συνύπαρξη μεταξύ τεχνολογίας και ανθρωπότητας, όπου οι κοινωνικές προκλήσεις αντιμετωπίζονται μέσω της καινοτομίας και η ευημερία των ατόμων βρίσκεται στο επίκεντρο. Μέσω της ενσωμάτωσης των δύο αυτών κινημάτων, προωθείται ένα όραμα για ένα βιώσιμο, χωρίς αποκλεισμούς και εφήμερο μέλλον, όπου η βιομηχανία εξυπηρετεί τις ανάγκες της κοινωνίας και η κοινωνία συμμετέχει ενεργά στη ανθρωποκεντρική διαμόρφωση της βιομηχανίας.

#### 4.1.3 Ανθεκτικότητα

Η ανθεκτικότητα βρίσκεται στον πυρήνα της Βιομηχανίας 5.0, αντιπροσωπεύοντας την ικανότητά της να προσαρμόζεται, να ανακάμπτει και να ευδοκιμεί μπροστά σε προκλήσεις

και διαταραχές. Μέσω της εφαρμογής προηγμένων συστημάτων παρακολούθησης και προληπτικής συντήρησης, προβλέπει πιθανά προβλήματα, ελαχιστοποιεί το χρόνο διακοπής λειτουργίας και επιτρέπει τη γρήγορη αποκατάσταση από διαταραχές. Επιπλέον, η Βιομηχανία 5.0 προωθεί την ανθεκτικότητα με την προώθηση ενός συνεργατικού οικοσυστήματος, όπου άνθρωποι και μηχανές εργάζονται αρμονικά, αξιοποιώντας τις δυνάμεις τους για να ξεπεράσουν τα εμπόδια. Δίνοντας έμφαση στην προσαρμοστικότητα, τον πλεονασμό και τη συνεχή μάθηση, η Βιομηχανία 5.0 χτίζει ένα ανθεκτικό θεμέλιο που μπορεί να αντέξει σε απρόβλεπτες συνθήκες, εξασφαλίζοντας βιώσιμη ανάπτυξη και συμβάλλοντας σε μια πιο ανθεκτική κοινωνία στο σύνολό της.

Η ανάπτυξη μεγαλύτερης ανθεκτικότητας για την προστασία από τις επιπτώσεις πανδημιών ή μελλοντικών κρίσεων, οι οποίες μπορεί να απαιτούν απομακρυσμένη εργασία και επιχειρηματικές δραστηριότητες, αποτελεί σημαντική πρόκληση που πρέπει να ξεπεραστεί.[106]

Η πανδημία COVID-19 αποτελεί μια έντονη υπενθύμιση του τεράστιου και γρήγορου αντίκτυπου που μπορούν να έχουν τα γεγονότα στο παγκόσμιο σύστημα όταν δεν υπάρχουν επαρκή μέτρα ανθεκτικότητας. Η έννοια της ανθεκτικότητας αναφέρεται στην ικανότητα μιας βιομηχανίας να διαχειρίζεται αποτελεσματικά τις προκλήσεις, να αποκαθιστά κρίσιμες λειτουργίες και να ευδοκίμει εν μέσω μεταβαλλόμενων συνθηκών. Η ανθεκτικότητα υπερβαίνει την απλή επιβίωση στην τρέχουσα κατάσταση, αλλά εστιάζει στην ανάπτυξη βελτιωμένων λειτουργιών και διαδικασιών για την εξασφάλιση ενός καλύτερου μέλλοντος. Στο πλαίσιο της πορείας του μεταποιητικού τομέα προς την οικονομική ανάκαμψη, η ανθεκτικότητα έχει καταστεί υψίστης σημασίας για την πλοήγηση στο απρόβλεπτο και δυναμικό επιχειρηματικό τοπίο. Οι βιομηχανία απαιτεί μια ισχυρή οργανωτική κουλτούρα και ψηφιακό εκσυγχρονισμό για να λειτουργεί με ασφάλεια, βιωσιμότητα και ανθεκτικότητα, θέτοντας έτσι τις βάσεις για μακροπρόθεσμη επιτυχία.[107]

Η ανθεκτικότητα στη βιομηχανία 5.0 συνδέεται στενά με την έννοια της ευελιξίας. Με την υιοθέτηση ευέλικτων μεθοδολογιών και πρακτικών, οι κατασκευαστές μπορούν να προωθήσουν μια κουλτούρα προσαρμοστικότητας και ταχείας αντίδρασης. Οι ευέλικτες αρχές προωθούν την επαναληπτική ανάπτυξη, τη συνεχή βελτίωση και τη δια λειτουργική συνεργασία, επιτρέποντας στις εταιρείες να αντιδρούν γρήγορα και να προσαρμόζουν τις στρατηγικές τους μπροστά σε απροσδόκητα γεγονότα. Οι ευέλικτες διαδικασίες παραγωγής επιτρέπουν ευέλικτες γραμμές παραγωγής, με αρθρωτά σχέδια και κλιμακούμενες λειτουργίες, διασφαλίζοντας ότι οι εταιρείες μπορούν να ανταποκρίνονται αποτελεσματικά στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις της αγοράς και να μετριάσουν τις διαταραχές που μπορεί να προκύψουν.

Ένα άλλο ζωτικό στοιχείο της ανθεκτικότητας στη βιομηχανία 5.0 είναι η δημιουργία ανθεκτικών αλυσίδων εφοδιασμού. Αυτό περιλαμβάνει τη διαφοροποίηση των στρατηγικών προμηθειών, την επέκταση των δικτύων προμηθευτών και τη μείωση των εξαρτήσεων από μεμονωμένες πηγές ή περιοχές. Με την υιοθέτηση μιας προσέγγισης πολύ - επίπεδης αλυσίδας εφοδιασμού, οι κατασκευαστές μπορούν να κατανέμουν καλύτερα τους κινδύνους, να μετριάσουν τις διαταραχές και να διασφαλίσουν μια σταθερή ροή κρίσιμων εισροών. Επιπλέον, η ενσωμάτωση της τεχνολογίας blockchain στη διαχείριση της αλυσίδας

εφοδιασμού ενισχύει τη διαφάνεια, την ιχνηλασιμότητα και την εμπιστοσύνη μεταξύ των ενδιαφερομένων, μειώνοντας το ενδεχόμενο απάτης, παραποιημένων προϊόντων ή γενικότερων διαταραχών της αλυσίδας εφοδιασμού.

Εκτός από τις τεχνολογικές εξελίξεις, η ανθεκτικότητα της βιομηχανίας 5.0 μπορεί να ενισχυθεί περαιτέρω μέσω επενδύσεων στο ανθρώπινο κεφάλαιο. Ο ρόλος των εξειδικευμένων εργαζομένων καθίσταται όλο και πιο κρίσιμος για τη διαχείριση των διαταραχών και την προώθηση της καινοτομίας. Θα πρέπει να εφαρμοστούν προγράμματα αναβάθμισης και επανεκπαίδευσης για να εφοδιάσουν τους εργαζόμενους με τις απαραίτητες γνώσεις και ικανότητες για την πλοήγηση στις μεταβαλλόμενες τεχνολογίες και διαδικασίες. Επιπλέον, η προώθηση μιας κουλτούρας συνεργασίας και συνεχούς μάθησης, ενισχύει τη συλλογική ανθεκτικότητα των ίδιων των οργανισμών, καθώς οι διαφορετικές προοπτικές και η εμπειρογνωμοσύνη συμβάλλουν στην επίλυση προβλημάτων και στη λήψη αποφάσεων.

Συμπερασματικά, η βιομηχανία 5.0 έχει τη δυνατότητα να αποτελέσει ένα ανθεκτικό κατασκευαστικό παράδειγμα, εξοπλισμένο για να αντιμετωπίσει τις προκλήσεις ενός αβέβαιου κόσμου. Αξιοποιώντας τις προηγμένες τεχνολογίες, προωθώντας την ευελιξία, βελτιστοποιώντας τις αλυσίδες εφοδιασμού, επενδύοντας στο ανθρώπινο κεφάλαιο και αγκαλιάζοντας τη βιωσιμότητα, οι επιχειρήσεις μπορούν να ενισχύσουν την ικανότητά τους να προσαρμόζονται, να ανακάμπτουν και να ευημερούν. Η ανθεκτικότητα στη Βιομηχανία 5.0 δεν αφορά μόνο την επιβίωση των διαταραχών, αλλά και την οικοδόμηση ενός οικοσυστήματος έτοιμου για το μέλλον, το οποίο μπορεί να αντέξει τις αβεβαιότητες και να οδηγήσει σε μακροπρόθεσμη επιτυχία.

## 4.2 Προκλήσεις της Βιομηχανίας 5.0

Η βιομηχανία 5.0 θέτει διάφορα τεχνικά εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν για να επιτευχθεί η απρόσκοπτη ενσωμάτωση των προηγμένων τεχνολογιών καθώς και με τον ίδιο τον άνθρωπο. Μεταξύ αυτών των προκλήσεων, η διασφάλιση της διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών και συστημάτων είναι υψίστης σημασίας. Καθώς πολλαπλές τεχνολογίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη, η μηχανική μάθηση, η ρομποτική και το Διαδίκτυο των πραγμάτων έρχονται σε επαφή, καθίσταται απαραίτητη η καθιέρωση αποτελεσματικής επικοινωνίας και συνεργασίας μεταξύ αυτών των συστημάτων.

Μια άλλη σημαντική πρόκληση έγκειται στη διαχείριση των δεδομένων. Οι τεχνολογίες που εμπλέκονται παράγουν τεράστιο όγκο δεδομένων, γεγονός που απαιτεί ισχυρά συστήματα διαχείρισης δεδομένων ικανά να διαχειριστούν την μεγάλη κλίμακα, την ταχύτητα και την ποικιλομορφία των δεδομένων αυτών. Επιπλέον, η διασφάλιση των παραπάνω δεδομένων είναι απαραίτητη για την αποτροπή μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης, η οποία θα μπορούσε να θέσει σε κίνδυνο την ακεραιότητα της διαδικασίας παραγωγής.

Η υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών στη βιομηχανία 5.0 απαιτεί επίσης σημαντικές επενδύσεις σε έρευνα και ανάπτυξη. Οι κατασκευαστές πρέπει να είναι πρόθυμοι να επενδύσουν στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, διαδικασιών και προϊόντων για να παραμείνουν ανταγωνιστικοί στο διαρκώς εξελισσόμενο τοπίο. Οι επενδύσεις αυτές είναι κρίσιμες για να συμβαδίζουν με τις αναδυόμενες τεχνολογίες και να προωθούν την καινοτομία που ανταποκρίνεται στις ανάγκες των πελατών.

Εκτός από τα τεχνικά εμπόδια, πρέπει να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις της ασφάλειας στον κυβερνοχώρο. Μια τέτοια πρόκληση αφορά την πλοήγηση στους πολύπλοκους κανονισμούς που αφορούν το απόρρητο των δεδομένων. Καθώς παράγονται και μοιράζονται περισσότερα δεδομένα σε διάφορες τεχνολογίες και συστήματα, η διασφάλιση της ιδιωτικότητας των δεδομένων καθίσταται υψίστης σημασίας, παράλληλα με τη διασφάλιση ισχυρών μέτρων κυβερνοασφάλειας για τον μετριασμό των απειλών στον κυβερνοχώρο.

Η υιοθέτησή της Βιομηχανίας 5.0 δημιουργεί και διάφορες προκλήσεις στον άνθρωπο. Μια σημαντική πρόκληση είναι η απαίτηση για εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό με τεχνικές γνώσεις, το οποίο επί του παρόντος βρίσκεται σε ανεπάρκεια. Επίσης μεγάλη πρόκληση είναι και η αλλαγή κουλτούρας που απαιτείται εντός των οργανισμών για την υιοθέτηση της αρμονικής συνεργασίας και η εύρεση νέων τρόπων εργασίας. Η αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ εργαζομένων και διοίκησης είναι ζωτικής σημασίας, μαζί με την παροχή ευκαιριών για ανατροφοδότηση των εργαζομένων. Η εκτόπιση θέσεων εργασίας λόγω της αυτοματοποίησης και της εφαρμογής συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης δημιουργεί ήδη μεγάλη ανησυχία στους εργαζομένους .

Η υιοθέτηση της βιομηχανίας 5.0 μπορεί να επιδεινώσει τις κοινωνικές και οικονομικές ανισότητες, ευνοώντας τις εταιρείες στις ανεπτυγμένες χώρες και συγκεντρώνοντας πλούτο και πόρους. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής πρέπει να προωθήσουν τη δίκαιη κατανομή των οφελών της Βιομηχανίας 5.0 και να διασφαλίσουν την πρόσβαση των αναπτυσσόμενων χωρών στην τεχνολογία και τους πόρους. Η Βιομηχανία 5.0 έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στη μεταποίηση, αλλά η αντιμετώπιση των κοινωνικοοικονομικών προκλήσεων είναι ζωτικής σημασίας. Αυτό συνεπάγεται επενδύσεις στην εκπαίδευση και την κατάρτιση, την προώθηση βιώσιμων πρακτικών, την εφαρμογή ισχυρών κανονισμών προστασίας δεδομένων και τη διασφάλιση της δίκαιης κατανομής των οφελών. Μόνο αν ξεπεραστούν αυτές οι προκλήσεις μπορεί να απελευθερωθεί πλήρως το δυναμικό της Βιομηχανίας 5.0 και να δημιουργηθεί ένα εφήμερο και βιώσιμο μέλλον. [108]

### 4.3 Συμπεράσματα

Από τεχνολογική άποψη, η βιομηχανία 5.0 αντιμετωπίζει προκλήσεις που σχετίζονται με τη διαλειτουργικότητα, τη διαχείριση δεδομένων και την κυβερνοασφάλεια, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Η διαλειτουργικότητα είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της απρόσκοπτης επικοινωνίας και συνεργασίας μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών και

συστημάτων. Επιπλέον, απαιτούνται αυστηρά μέτρα κυβερνοασφάλειας για την προστασία των ευαίσθητων πληροφοριών και τη διατήρηση της ακεραιότητας της παραγωγικής διαδικασίας. Αυτές οι τεχνολογικές εξελίξεις και λύσεις είναι καθοριστικής σημασίας για την οικοδόμηση μιας ανθεκτικής Βιομηχανίας 5.0.

Η ανθρωποκεντρικότητα αποτελεί βασική αρχή της Βιομηχανίας 5.0. Καθώς οι προηγμένες τεχνολογίες γίνονται όλο και πιο διαδεδομένες, αυξάνεται η ζήτηση για εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό ικανό να λειτουργεί και να βελτιστοποιεί αυτές τις τεχνολογίες. Η μετάβαση απαιτεί προγράμματα επανεκπαίδευσης και αναβάθμισης των δεξιοτήτων για να εφοδιάσει τους εργαζόμενους με τις απαραίτητες τεχνικές ικανότητες. Δίνοντας προτεραιότητα στον ανθρώπινο παράγοντα, η Βιομηχανία 5.0 στοχεύει να βελτιώσει την ποιότητα της εργασίας, την ευημερία και την ικανοποίηση από την εργασία, οδηγώντας σε ένα πιο βιώσιμο και ανθεκτικό εργατικό δυναμικό.

Η βιωσιμότητα αποτελεί ζωτική πτυχή της βιομηχανίας 5.0. Αυτή η νέα εποχή της μεταποίησης επιδιώκει την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών της επιπτώσεων με την υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών. Η αποδοτικότητα των πόρων, η μείωση των αποβλήτων και η υπεύθυνη διάθεση των ηλεκτρονικών αποβλήτων αποτελούν κρίσιμα ζητήματα. Με την ενσωμάτωση της βιωσιμότητας στον πυρήνα της Βιομηχανίας 5.0, οι κατασκευαστές μπορούν να μειώσουν το αποτύπωμα άνθρακα, να εξοικονομήσουν πόρους και να συμβάλουν σε ένα πιο βιώσιμο μέλλον. Επιπλέον, η Βιομηχανία 5.0 παρέχει ευκαιρίες για την ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον προϊόντων και υπηρεσιών, ενισχύοντας περαιτέρω τη βιωσιμότητα στον τομέα της μεταποίησης.

Η ανθεκτικότητα αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της Βιομηχανίας 5.0. Με την υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών, οι κατασκευαστές μπορούν να ενισχύσουν την ικανότητά τους να προσαρμόζονται και να ανταποκρίνονται σε ανατρεπτικά γεγονότα και διακυμάνσεις της αγοράς. Η βιομηχανία 5.0 επιτρέπει ευέλικτα και ευλύγιστα συστήματα παραγωγής που μπορούν να προσαρμόζονται γρήγορα στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις των πελατών και στις διαταραχές της αλυσίδας εφοδιασμού. Η ανθεκτικότητα της Βιομηχανίας 5.0 έγκειται στην ικανότητά της να αξιοποιεί τις τεχνολογίες, να ενδυναμώνει το εργατικό δυναμικό και να προωθεί βιώσιμες πρακτικές, εξασφαλίζοντας την επιχειρηματική συνέχεια και τον ανταγωνισμό σε ένα ταχέως εξελισσόμενο παγκόσμιο τοπίο.

Συμπερασματικά, η μετάβαση από τη Βιομηχανία 4.0 στη Βιομηχανία 5.0 περιλαμβάνει προηγμένες τεχνολογίες, βιωσιμότητα, ανθρωποκεντρικότητα και ανθεκτικότητα. Με την αντιμετώπιση των τεχνολογικών προκλήσεων, την καλλιέργεια εξειδικευμένου εργατικού δυναμικού, την υιοθέτηση της βιωσιμότητας και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας, οι κατασκευαστές μπορούν να αξιοποιήσουν πλήρως τις δυνατότητες της Βιομηχανίας 5.0. Αυτή η αλλαγή υπόσχεται να φέρει επανάσταση στη μεταποιητική βιομηχανία, δημιουργώντας μια πιο αποτελεσματική, βιώσιμη και ανθρωποκεντρική προσέγγιση στην παραγωγή. Η Βιομηχανία 5.0 αποτελεί μια ευκαιρία για τις εταιρείες να ευδοκιμήσουν απέναντι στις αβεβαιότητες και να συμβάλουν σε ένα ανθεκτικό και ευημερούν μέλλον.



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ

- [1] “Industrial Revolution and Technology” <https://education.nationalgeographic.org/resource/industrial-revolution-and-technology/> (accessed 2 June 20223)
- [2] Demir, K. A., & HALIL, C. (2018). The next industrial revolution: industry 5.0 and discussions on industry 4.0, industry 4.0 from the management information systems perspectives.
- [3] E. Burns, Ευρωπαϊκή Ιστορία. Εισαγωγή στην Ιστορία και τον Πολιτισμό της νεότερης Ευρώπης, τ. Β', επιμέλεια-εισαγωγή Ι.Σ. Κολιόπουλος, μτφρ. Τάσος Δαρβέρης, Παρατηρητής, Θεσσαλονίκη, χχ, σ. 101-102.
- [4] “Industrial Revolution 1.0 — Era of Mechanization” <https://medium.com/spark-by-sime/industrial-revolution-1-0-9e6dc9c62c8c> (accessed 23 May 2021)
- [5] Mokyr, J., & Strotz, R. H. (1998). The second industrial revolution, 1870-1914. Storia dell'economia Mondiale, 21945(1).
- [6] “Difference between DC power and AC power” [Difference DC power and AC power | Tech | Matsusada Precision](#) (accessed 17 October 2022)
- [7] Unesco, T.& Francis.(1987).The Third industrial revolution - Impact of science on society. France. [The Third industrial revolution - UNESCO Digital Library](#)
- [8] "Next Generation Interfaces" [INFORMATION SPACES: Sketchpad \(kisd.de\)](#) (accessed May 2003)
- [9] Walker, M. J. (2012). The programmable logic controller: its prehistory, emergence and application. Open University (United Kingdom).
- [10]” Session III Architecture of PLC” [Session III Architecture of PLC - ppt download \(slideplayer.com\)](#) (accessed 2018)
- [11] Kjelsrud, J. (2022). A Secure Transition from Industry 3.0 to Industry 4.0 for Manufactures (Master's thesis).
- [12] “CNC MACHINE: HOW IT WORKS? PARTS” [CNC Machine: How it Works? Parts, Types, Feature with \[PDF\] \(theengineerspost.com\)](#) (accessed 23 August 2021)
- [13] Kwon, H. D., & Burdekin, M. (1998). Adjustment of CNC machine tool controller setting values by an experimental method. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 38(9), 1045-1065.
- [14] Oyoun, M. L. (2020). Computer Numerical Control (CNC). Researchgate, Oct.

- [15] S. Cabuk. (2020). Deloitte Cyber Survey. Denmark.
- [16] Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. *Procedia cirp*, 52, 173-178.
- [17] Ng, T. C., Lau, S. Y., Ghobakhloo, M., Fathi, M., & Liang, M. S. (2022). The application of industry 4.0 technological constituents for sustainable manufacturing: A content-centric review. *Sustainability*, 14(7), 4327.
- [18] “What is Industry 4.0?” [What is Industry 4.0? \(calsoft.com\)](https://www.calsoft.com) (accessed 18 July 2022)
- [19] Bayuk, J. L., & Horowitz, B. M. (2011). An architectural systems engineering methodology for addressing cyber security. *Systems Engineering*, 14(3), 294-304.
- [20] Cavelti, M. D. (2010). Cyber-security. In *The Routledge handbook of new security studies* (pp. 154-162). Routledge.
- [21] Kaur, J., & Ramkumar, K. R. (2022). The recent trends in cyber security: A review. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 34(8), 5766-5781.
- [22] Wilson, K. S., & Kiy, M. A. (2014). Some fundamental cybersecurity concepts. *IEEE access*, 2, 116-124.
- [23] “5 Common Encryption Algorithms and the Unbreakables of the Future” [5 Common Encryption Algorithms and the Unbreakables of the Future - Arcserve](#) (accessed 14 February 2023)
- [24] “What is Triple DES and why is it being disallowed? - Michael Cobb” [What is Triple DES and why is it being disallowed? | TechTarget](#) (accessed January 2023)
- [25] “What Is AES Encryption and How Does It Work? By Baivab Kumar Jena” [What Is AES Encryption and How Does It Work? - Simplilearn](#) (accessed 9 February 2023)
- [26] “What is the RSA algorithm?” [What is the RSA algorithm? \(educative.io\)](#) (accessed 2023)
- [27] “Blowfish Algorithm: An Interesting Overview In 7 Points – Sauvik Acharjee” [Blowfish Algorithm: An Interesting Overview In 7 Points | UNext \(u-next.com\)](#) (accessed 13 February 2021)
- [28] Sawant, A. G., Nitnaware, V. N., Dengale, P., Garud, S., & Gandewar, A. (2019). Twofish algorithm for encryption and decryption. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 6(1).
- [29] “Introduction to data encryption” [Introduction to data encryption - MORF - Coding And Engineering](#) (accessed 4 October 2014)
- [30] Philip, B. O. U. C. H. E. R. (2019). BRIEFING-How artificial intelligence works-First wave: Symbolic artificial intelligence.

- [31] Choi, R. Y., Coyner, A. S., Kalpathy-Cramer, J., Chiang, M. F., & Campbell, J. P. (2020). Introduction to machine learning, neural networks, and deep learning. *Translational Vision Science & Technology*, 9(2), 14-14.
- [32] Jan, Z., Ahamed, F., Mayer, W., Patel, N., Grossmann, G., Stumptner, M., & Kuusk, A. (2022). Artificial Intelligence for Industry 4.0: Systematic Review of Applications, Challenges, and Opportunities. *Expert Systems with Applications*, 119456.
- [33] "MACHINE LEARNING FOR BEGINNERS" [Machine Learning for beginners - ANEXIA Blog](#) (accessed 18 May 2020)
- [34] "Convolutional Neural Networks for Beginners" [What Are Convolutional Neural Networks? \(serokell.io\)](#) (accessed 3 August 2021)
- [35] Ribeiro, J., Lima, R., Eckhardt, T., & Paiva, S. (2021). Robotic process automation and artificial intelligence in industry 4.0—a literature review. *Procedia Computer Science*, 181, 51-58.
- [36] "How does a digital twin work?" [What is a digital twin? | IBM](#) (accessed 4 April 2023)
- [37] Jiang, Y., Yin, S., Li, K., Luo, H., & Kaynak, O. (2021). Industrial applications of digital twins. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 379(2207), 20200360.
- [38] Leng, J., Wang, D., Shen, W., Li, X., Liu, Q., & Chen, X. (2021). Digital twins-based smart manufacturing system design in Industry 4.0: A review. *Journal of manufacturing systems*, 60, 119-137.
- [39] Liu, X., Zhang, T., Hu, N., Zhang, P., & Zhang, Y. (2020). The method of Internet of Things access and network communication based on MQTT. *Computer Communications*, 153, 169-176.
- [40] Hsu, C. L., & Lin, J. C. C. (2016). An empirical examination of consumer adoption of Internet of Things services: Network externalities and concern for information privacy perspectives. *Computers in Human Behavior*, 62, 516-527.
- [41] Kumar, N. M., & Mallick, P. K. (2018). The Internet of Things: Insights into the building blocks, component interactions, and architecture layers. *Procedia computer science*, 132, 109-117.
- [42] Malik, P. K., Sharma, R., Singh, R., Gehlot, A., Satapathy, S. C., Alnumay, W. S., ... & Nayak, J. (2021). Industrial Internet of Things and its applications in industry 4.0: State of the art. *Computer Communications*, 166, 125-139.
- [43] Zhang, H., Chen, G., Ooi, B. C., Tan, K. L., & Zhang, M. (2015). In-memory big data management and processing: A survey. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 27(7), 1920-1948.
- [44] Etienne, D. (2018). 45-year CPU evolution: one law and two equations. arXiv preprint arXiv:1803.00254.

- [45] Data, B. (2013). A Review. Seref SAGIROGLU and Duygu SINANC, Gazi University. Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Ankara, Turkey.
- [46] Rotondo, A., & Quilligan, F. (2020). Evolution paths for knowledge discovery and data mining process models. *SN Computer Science*, 1(2), 109.
- [47] Sharma, A., & Pandey, H. (2020). Big data and analytics in industry 4.0. A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development, 57-72.
- [48] Qian, L., Luo, Z., Du, Y., & Guo, L. (2009). Cloud computing: An overview. In *Cloud Computing: First International Conference, CloudCom 2009, Beijing, China, December 1-4, 2009. Proceedings 1* (pp. 626-631). Springer Berlin Heidelberg.
- [49] Youssef, A. E. (2012). Exploring cloud computing services and applications. *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*, 3(6), 838-847.
- [50] Goyal, S. (2014). Public vs private vs hybrid vs community-cloud computing: a critical review. *International Journal of Computer Network and Information Security*, 6(3), 20-29.
- [51] "Top 3 Cloud Computing Service Models: SaaS | PaaS | IaaS" [Top 3 Cloud Computing Service Models: SaaS | PaaS | IaaS \(k21academy.com\)](#) (accessed 26 April 2023)
- [52] "The right kind of cloud? How to choose the cloud services that suit your company needs." [Public, Private, Community or Hybrid Cloud - differences | Data Analytics \(dsstream.com\)](#) (accessed 8 February 2021)
- [53] Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2009). Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing.
- [54] "7 Types of Additive Manufacturing" [Learn about the seven types of additive manufacturing, each with its own processes, methods of laye — About Applied Engineering | Company – Applied Engineering](#) (accessed 22 January 2021)
- [55] "The seven categories of additive manufacturing technologies" [The seven categories of additive manufacturing technologies - Gen3D](#) (accessed 7 March 2022)
- [56] "ADDITIVE MANUFACTURING FOUNDATIONS" [Additive Manufacturing - Project Engineering Management Ltd](#) (accessed 2022)
- [57] Dilberoglu, U. M., Gharehpapagh, B., Yaman, U., & Dolen, M. (2017). The role of additive manufacturing in the era of industry 4.0. *Procedia manufacturing*, 11, 545-554.
- [58] Santi, G. M., Ceruti, A., Liverani, A., & Osti, F. (2021). Augmented reality in industry 4.0 and future innovation programs. *Technologies*, 9(2), 33.
- [59] "Augmented reality in remote support combined with smart expert portal helps in service and maintenance work. " [Augmented reality in remote support combined with smart expert portal helps in service and maintenance work \(softability.fi\)](#) (accessed 16 January 2018)

- [60] Reljić, V., Milenković, I., Dudić, S., Šulc, J., & Bajči, B. (2021). Augmented reality applications in industry 4.0 environment. *Applied Sciences*, 11(12), 5592.
- [61] Luckcuck, M., Farrell, M., Dennis, L. A., Dixon, C., & Fisher, M. (2019). Formal specification and verification of autonomous robotic systems: A survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 52(5), 1-41.
- [62] Tantawi, K. H., Sokolov, A., & Tantawi, O. (2019, December). Advances in industrial robotics: From industry 3.0 automation to industry 4.0 collaboration. In 2019 4th Technology Innovation Management and Engineering Science International Conference (TIMES-iCON) (pp. 1-4). IEEE.
- [63] “Why Mercedes is halting the robots' reign on assembly lines” [Why Mercedes is halting the robots' reign on assembly lines | Automotive News Europe \(autonews.com\)](#) (accessed 25 February 2016)
- [64] Sony, M. (2020). Pros and cons of implementing Industry 4.0 for the organizations: a review and synthesis of evidence. *Production & Manufacturing Research*, 8(1), 244-272.
- [65] Beier, G., Matthes, M., Shuttleworth, L., Guan, T., Grudzien, D. I. D. O. P., Xue, B., ... & Chen, L. (2022). Implications of Industry 4.0 on industrial employment: A comparative survey from Brazilian, Chinese, and German practitioners. *Technology in society*, 70, 102028.
- [66] Badri, A., Boudreau-Trudel, B., & Souissi, A. S. (2018). Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern?. *Safety science*, 109, 403-411.
- [67] “U.S. energy demand slows except for industrial, commercial sectors ” [U.S. Energy Information Administration - EIA - Independent Statistics and Analysis](#) (accessed 29 April 2015)
- [68] Thukral, S., Shree, D., & Singhal, S. (2023). Consumer behaviour towards storage, disposal and recycling of e-waste: systematic review and future research prospects. *Benchmarking: An International Journal*, 30(3), 1021-1072.
- [69] I Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530-535.
- [70] Breque, M., De Nul, L., & Petridis, A. (2021). Industry 5.0: towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. Luxembourg, LU: European Commission, Directorate-General for Research and Innovation.
- [71] Fraga-Lamas, P., Varela-Barbeito, J., & Fernández-Caramés, T. M. (2021). Next generation auto-identification and traceability technologies for industry 5.0: A methodology and practical use case for the shipbuilding industry. *Ieee Access*, 9, 140700-140730.
- [72] Maddikunta, P. K. R., Pham, Q. V., Prabadevi, B., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T. R., ... & Liyanage, M. (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, 100257.

[73] “A critical look at AM’s green credentials and a roadmap to a climate-friendly future” <https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/Sustainability-Is-Additive-Manufacturing-a-green-deal.html> (accessed 28 March 2022)

[74] “What is Blockchain Technology? How Does Blockchain Work?” <https://www.simplilearn.com/tutorials/blockchain-tutorial/blockchain-technology#:~:text=A%20blockchain%20is%20a%20distributed%2C%20immutable%2C%20a%20decentralized%20ledger%20at,a%20chronological%20chain%20of%20information.> (accessed 8 May 2023)

[75] “Blockchain success starts here” <https://www.ibm.com/topics/blockchain> (accessed 2023)

[76] “What Is Blockchain?” [What is Blockchain Technology? - IBM Blockchain | IBM](#) (accessed 2 Juny 2022)

[77] Leng, J., Chen, Z., Huang, Z., Zhu, X., Su, H., Lin, Z., & Zhang, D. (2022). Secure blockchain middleware for decentralized iiot towards industry 5.0: A review of architecture, enablers, challenges, and directions. *Machines*, 10(10), 858.

[78] Akyildiz, I. F., Kak, A., & Nie, S. (2020). 6G and beyond: The future of wireless communications systems. *IEEE access*, 8, 133995-134030.

[79] “Everything you need to know about 5G.” [What is 5G? | Everything You Need to Know | 5G FAQ | Qualcomm](#) (accessed 2019)

[80] Chowdhury, M. Z., Shahjalal, M., Ahmed, S., & Jang, Y. M. (2020). 6G wireless communication systems: Applications, requirements, technologies, challenges, and research directions. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1, 957-975.

[81] Marr, B. (2019). What is extended reality technology? A simple explanation for anyone. *Forbes*.

[82] “ Extended reality, or XR, is a collective term that refers to immersive technologies, including virtual reality, augmented reality and mixed reality.” [What Is Extended Reality? | NVIDIA Blog](#) (accessed 20 May 2022)

[83] “FROM VIRTUAL REALITY TO EXTENDED REALITY” [From virtual reality to extended reality | Bridges Horizon EU \(bridges-horizon.eu\)](#) (accessed 7 February 2022)

[84] Chen, Y., Ding, Y., Zhao, F., Zhang, E., Wu, Z., & Shao, L. (2021). Surface defect detection methods for industrial products: A review. *Applied Sciences*, 11(16), 7657.

[85] Rožanec, J. M., Novalija, I., Zajec, P., Kenda, K., Tavakoli Ghinani, H., Suh, S., ... & Soldatos, J. (2022). Human-centric artificial intelligence architecture for industry 5.0 applications. *International Journal of Production Research*, 1-26.

[86] Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A human-centric solution. *Sustainability*, 11(16), 4371.

- [87] Zacharaki, A., Kostavelis, I., & Dokas, I. (2021). Decision Making with STPA through Markov Decision Process, a Theoretic Framework for Safe Human-Robot Collaboration. *Applied Sciences*, 11(11), 5212.
- [88] "DEFINITION- collaborative robot (cobot)" Kinza Yasar, <https://www.techtarget.com/whatis/definition/collaborative-robot-cobot#:~:text=A%20collaborative%20robot%2C%20also%20known,work%20independently%20and%20remain%20stationary>. (accessed 10 May 2023)
- [89] "Getting Started with Connecting and Controlling a UR5e Cobot from Universal Robots" <https://www.mathworks.com/help/supportpkg/urseries/ug/getting-started-controlling-ur5e.html> (accessed 2023)
- [90] "Cobots and Collaborative Robots" <https://www.iqsdirectory.com/articles/automation-equipment/collaborative-robots.html> (accessed 2023)
- [91] Behrens, R., Pliske, G., Umbreit, M., Piatek, S., Walcher, F., & Elkmann, N. (2022). A statistical model to determine biomechanical limits for physically safe interactions with collaborative robots. *Frontiers in robotics and AI*, 8, 667818.
- [92] "Speed and Separation Monitoring for Robotic Applications" <https://ez.analog.com/ez-blogs/b/engineerzone-spotlight/posts/speed-and-separation-monitoring-for-robotic-applications> (accessed 12 April 2022)
- [93] Beasley, G., & Rosseel, T. (2016). Leaning into sustainability at University of Alberta Libraries. *Library Management*, 37(3), 136-148.
- [94] Mollenkamp, D. T., Brown, J. R., & Li, T. (2022). What is Sustainability? How Sustainabilities Work, Benefits, and Example. Investopedia,[Online]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/s/sustainability.asp>. [Accessed 22 June 2022].
- [95] Nordin, N., Ashari, H., & Rajemi, M. F. (2014). A case study of sustainable manufacturing practices. *Journal of Advanced Management Science*, 2(1), 12-16.
- [96] Sustainability in Manufacturing Enterprises - Green Energy and Technology DOI: 10.1007/978-3-319-29306-6 ISBN: 978-3-319-29304-2 , by Ibrahim H. Garbie
- [97] Owusu, P. A., & Asumadu-Sarkodie, S. (2016). A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. *Cogent Engineering*, 3(1), 1167990.
- [98] Hauschild, M. Z. (2018). Introduction to LCA methodology. *Life cycle assessment: Theory and practice*, 59-66.
- [99] "Renewable Energy vs Sustainable Energy: What's the Difference?" <https://energy.sais.jhu.edu/articles/renewable-energy-vs-sustainable-energy/#:~:text=Sustainable%20energy%20is%20derived%20from,and%20hydropower%2C%20are%20also%20renewable> (accessed 2 July 2021)



[100]”Life Cycle Assessment and Photovoltaic (PV) Recycling: Designing a More Sustainable Energy System” <https://www.nrel.gov/state-local-tribal/blog/posts/life-cycle-assessment-and-photovoltaic-pv-recycling-designing-a-more-sustainable-energy-system.html> (accessed 19 April 2016)

[101] Alves, J., Lima, T. M., & Gaspar, P. D. (2023). Is Industry 5.0 a Human-Centred Approach? A Systematic Review. *Processes*, 11(1), 193.

[102] Adel, A. (2022). Future of industry 5.0 in society: Human-centric solutions, challenges and prospective research areas. *Journal of Cloud Computing*, 11(1), 1-15.

[103] Huang, S., Wang, B., Li, X., Zheng, P., Mourtzis, D., & Wang, L. (2022). Industry 5.0 and Society 5.0—Comparison, complementation and co-evolution. *Journal of manufacturing systems*, 64, 424-428.

[104] Deguchi, A., Hirai, C., Matsuoka, H., Nakano, T., Oshima, K., Tai, M., & Tani, S. (2020). Society 5.0: A people-centric super-smart society. *Society 5.0: A People-Centric Super-Smart Society*, 1-177.

[105]” What is Society 5.0?” [https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5\\_0/index.html](https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html) (accessed 2023)

[106] “How the manufacturing industry can be more resilient in 2021” <https://connectedtechnologysolutions.co.uk/how-the-manufacturing-industry-can-be-more-resilient-in-2021/> (accessed 23 March 2021)

[107]”How Can Manufacturers Build Resilience and Become Sustainable?”<https://www.optiproerp.com/blog/how-can-manufacturers-build-resilience-and-become-sustainable/> (accessed 2022)

[108] George, A. S., & George, A. H. (2023). Revolutionizing Manufacturing: Exploring the Promises and Challenges of Industry 5.0. *Partners Universal International Innovation Journal*, 1(2), 22-38.